

CONTENT

CESARE SPOSITO, FRANCESCA SCALISI (EDITORIAL)	<i>Riflessioni e traiettorie di ricerca interdisciplinari sulla transizione energetica</i> Reflections and trajectories for interdisciplinary research on the energy transition	3
GIORGIO PEGHIN	<i>Verso una transizione culturale dei paesaggi energetici – Tra responsabilità e necessità</i> Towards a cultural transition of energy landscapes – Between responsibility and necessity	18
PANOS MANTZIARAS	<i>La previsione strategica urbana nel contesto europeo – Le lezioni di Ginevra e Lussemburgo</i> Urban strategic foresight in European territories – Lessons from Geneva and Luxembourg	30
ALESSANDRA BATTISTI, ANGELA CALVANO	<i>Hydrogen Valleys – Scenari di transizione energetica e sviluppo locale per città medie</i> Hydrogen Valleys – Energy transition and local development scenarios for medium-sized cities	48
XAVIER CASANOVAS, JOSÉ A. ALONSO CAMPANERO TIZIANA CAMPISI	<i>Patrimonio culturale e transizione energetica – Una lezione dal passato</i> Cultural heritage and energy transition – A lesson from the past	58
ALESSANDRO VALENTI, FRANCESCA SCALISI, CESARE SPOSITO LAURA DELLAMOTTA, ALESSANDRO MASSERDOTTI	<i>Energia, tecnologia emotiva e valore culturale dei dati – Creare consapevolezza nell'utente con lo storytelling</i> Energy, emotional technology and cultural value of data – Creating user awareness through storytelling	70
DAVID NESS	<i>La decarbonizzazione degli edifici sarà sufficiente? Limitare e ridistribuire l'aumento di superficie costruita</i> Will decarbonising buildings be enough? Constrain and redistribute growth in floor area	84
GIUSEPPE MARSALA, GIULLA RENDA	<i>Postprodurre il moderno – Lineamenti per una transizione energetica intesa come transizione architettonica</i> Post-producing the modern – Guidelines for an energy development as an architectural transition	98
DAVIDE DEL CURTO, ANDREA GARZULINO ANNA TURRINA	<i>Sostenibilità e transizione energetica – Prospettive per un approccio integrato al patrimonio costruito</i> Sustainability and energy transition – Perspectives for an integrated approach to the built heritage	114
CLAUDIA PIRINA, GIOVANNI COMI VINCENTO D'ABRAMO	<i>Per una transizione progettuale – Composizione e progetto del verde per la città contemporanea</i> For a design transition – Green composition and design for the contemporary city	124
LUCA MONTUORI, STEFANO CONVERSO MARTA RABAZO MARTÍN	<i>Spazi pubblici della transizione energetica – Un progetto a Nepi per il New European Bauhaus</i> Public spaces of the energy transition – A design in Nepi for the New European Bauhaus	138
MARIA AZZALIN	<i>Indicatore Smart Readiness per l'edilizia – Asset digitali per la transizione energetica</i> Smart Readiness for buildings – Digital asset for energy transition	148
DANILA LONGO, BEATRICE TURILLAZZI, ROSSELLA ROVERSI STEFANO LILLA, CARLO ALBERTO NUCCI ET ALII	<i>Gemello digitale urbano e modellazione energetica – Esperienze e analisi di casi d'uso</i> Urban Digital Twin and Energy Modeling – Experiences and case study analyses	160
ANDREA BOERI, DANILA LONGO SAVERIA OLGA MURIELLE BOULANGER, MARTINA MASSARI	<i>Contratto di Cittadinanza Energetica e transizione delle città europee</i> Energy Citizenship Contract and European cities transition	170
RENATA VALENTE, LOUISE ANNA MOZINGO ROBERTO BOSCO, SAVINO GIACOBBE	<i>Gestione integrata delle risorse naturali in contesti urbani sostenibili</i> Integrated natural resource management in sustainable urban context	180
SERENA BAIANI, PAOLA ALTAMURA GAIA TURCHETTI, GIADA ROMANO	<i>Transizione energetica e circolare del patrimonio industriale – Il caso dell'ex SNIA a Roma</i> Energy and circular transition of the industrial heritage – The Ex SNIA case in Rome	190
CAROLA CLEMENTE, FRANCESCO MANCINI ANNA MANGIATORDI, MARIANGELA ZAGARIA	<i>Riqualificazione e decarbonizzazione di edifici scolastici – Il CIS Roma Scuole Verdi</i> Deep renovation and decarbonisation of school buildings – The CIS Roma Scuole Verdi	204
JULIA NERANTZIA TZORTZI, MARIA STELLA LUX NATALIA PARDO DELGADO	<i>Infrastrutture verdi urbane in America latina – Una strategia per i cortili di Bogotá</i> Urban Green Infrastructure in Latin America – A strategy for Bogota courtyards	216
ROBERTA ZARCONE, FEDERICA NAVA FABRIZIO TUCCI	<i>Mitigazione del clima e comfort umano – Uno strumento per la modellazione e simulazione di supporto alle decisioni</i> Climate mitigation and human comfort – A decision-support modeling and simulation tool	228
LUIGI COCCIA, SARA CIPOLETTI GANMARCO CORVARO	<i>Green Room – Un dispositivo architettonico e urbano per l'efficiamento energetico e il comfort ambientale</i> Green Room – An architectural and urban device for energy efficiency and environmental comfort	238
ELISABETTA PALUMBO, ROSA ROMANO PAOLA GALLO	<i>Strategie life cycle thinking per la realizzazione di scuole nZEB</i> Life cycle thinking strategies for constructing nZEB schools	252
GIANCARLO PAGANIN, CINZIA TALAMO NAZLY ATTA, ELISA TINELLI	<i>Riuso di componenti edilizi – Sistema di valutazione a supporto delle decisioni negli interventi di ridistribuzione interna</i> Reuse of building components – Assessment system to support decisions in indoor re-layout interventions	266
ANNA OSELLO, MATTEO DEL GIUDICE ANGELO JULIANO DONATO, ANDREA FRATTO	<i>Verso la Neutralità Climatica – Il ruolo chiave del Digital Twin nell'Industria 5.0</i> Towards Climate Neutrality – The key role of the Digital Twin in Industry 5.0	276
DAVIDE BRUNO, STEFANIA PALMIERI, RICCARDO PALOMBA FELICE D'ALESSANDRO, MARIO BISSON	<i>Infrastrutture di mobilità intelligenti e sostenibili – Un nuovo sistema di connessioni urbane</i> Smart and sustainable mobility infrastructure – A new system of urban connections	286
DAVIDE CRIPPA, BARBARA DI PRETE RAFFAELLA FAGNONI, CARMELO LEONARDI	<i>Distretti energetici collaborativi – Laboratori urbani per un'energia di prossimità</i> Collaborative energy districts – Urban workshops for proximity energy	296
STEFANO FOLLESA, MARTINA CORTI DILETTA STRUZZIERO, AURORA PILUSO	<i>Design del sistema alimentare per comunità resilienti – Agricoltura urbana e spazi sostenibili</i> Food system design for resilient communities – Urban agriculture and sustainable spaces	306
ANNA PAOLA VACANTI, CARMELO LEONARDI	<i>Tecnologia, energia e tempo – Percorsi sperimentali per il design di tecnologie appropriate</i> Technology, energy, and time – Experimental paths for the design of appropriate technology	316
CHIARA OLIVASTRI, GIOVANNA TAGLIASCO	<i>Servizi per il riuso e il riparo – L'allestimento tra touchpoints e infrastrutture relazionali</i> Services for reuse and repair – The arrangement between touchpoints and relational infrastructures	324
MICHELE ZANNONI, LAURA SUCCINI LUDOVICA ROSATO, VERONICA PASINI	<i>Transitional industrial designer – La responsabilità di progettisti e imprese per una transizione sostenibile</i> Transitional industrial designer – The responsibility of designers and companies for a sustainable transition	332
ROSSANA GADDI, LUCIANA MASTROLONARDO	<i>Micro-reti locali per la transizione verde della filiera della lana</i> Local micro-networks for green transition of the wool supply chain	344

15

International Journal of Architecture Art and Design

15 | 2024

AGATHÓN | INNOVABILITY | TRANSIZIONE ENERGETICA | INNOVABILITY | ENERGY TRANSITION

INNOVABILITY
TRANSIZIONE ENERGETICA

INNOVABILITY
ENERGY TRANSITION

DEMETRA
Ce.Ri.Med.
CENTRO DOCUMENTAZIONE E
RICERCA EURO-MEDITERRANEA



PALERMO
UNIVERSITY
PRESS

ISSN online
2532-683X



ISSN print 2464-9309

70006

9 772464 930001

15
2024

AGATHÓN
International Journal
of Architecture, Art and Design

ISSN print: 2464-9309 – ISSN online: 2532-683X

AGATHÓN is indexed on



Promoter
DEMETERA Ce.Ri.MED.
Centro Documentazione e Ricerca Euro-Mediterranea
Euro-Mediterranean Documentation & Research Center

Publisher
Palermo University Press
Via Serradifalco n. 78 | 90145 Palermo (ITA)
E-mail: info@newdigitalfrontiers.com

Il vol. 15 è stato stampato nel Giugno 2024 da
Issue 14 was printed in June 2024 by
FOTOGRAF s.r.l.
viale delle Alpi n. 59 | 90144 Palermo (ITA)

AGATHÓN è un marchio di proprietà di Cesare Sposito
AGATHÓN is a trademark owned by Cesare Sposito



Scientific Directors
GIUSEPPE DE GIOVANNI, CESARE SPOSITO (University of Palermo, Italy)

Managing Director
MICAELA MARIA SPOSITO

International Scientific Committee

ALFONSO ACOCELLA (University of Ferrara, Italy), JOSE BALLESTEROS (Polytechnic University of Madrid, Spain), SALVATORE BARBA (University of Salerno, Italy), FRANÇOISE BLANC (Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Toulouse, France), ROBERTO BOLOGNA (University of Firenze, Italy), TAREK BRIK (University of Tunis, Tunisia), TOR BROSTRÖM (Uppsala University, Sweden), JOSEP BURCH I RIUS (University of Girona, Spain), MAURIZIO CARTA (University of Palermo, Italy), ALICIA CASTILLO MENA (Complutense University of Madrid, Spain), PILAR CHIAS NAVARRO (Universidad de Alcalá, Spain), JORGE CRUZ PINTO (University of Lisbon, Portugal), MARIA ANTONIETTA ESPOSITO (University of Firenze, Italy), EMILIO FAROLDI (Polytechnic University of Milano, Italy), FRANCESCA FATTA ('Mediterranea' University of Reggio Calabria, Italy), FRANCISCO JAVIER GALLEGO ROCA (University of Granada, Spain), MARIA LUISA GERMANÀ (University of Palermo, Italy), VICENTE GUALLART (IAAC – Institute for Advanced Architecture of Catalonia, Spain), JAVIER GARCIA-GUTIÉRREZ MOSTEIRO (Polytechnic University of Madrid, Spain), FAKHER KHARRAT (Ecole Nationale d'Architecture et d'Urbanisme, Tunisia), MOTOMI KAWAKAMI (Tama Art University, Japan), WALTER KLASZ (University of Art and Design Linz, Austria), PAOLO LA GRECA (University of Catania, Italy), INHEE LEE (Pusan National University, South Korea), MARIO LOSASSO ('Federico II' University of Napoli, Italy), MARIA TERESA LUCARELLI ('Mediterranea' University of Reggio Calabria, Italy), CRISTIANA MAZZONI (Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Paris-Belleville, France), RENATO TEOFILO GIUSEPPE MORGANTI (University of L'Aquila, Italy), STEFANO FRANCESCO MUSSO (University of Genova, Italy), OLIMPIA NIGLIO (University of Pavia, Italy), MARCO ROSARIO NOBILE (University of Palermo, Italy), PATRIZIA RANZO ('Luigi Vanvitelli' University of Napoli, Italy), LAURA RICCI ('Sapienza' University of Roma, Italy), ANDREA ROLANDO (Polytechnic University of Milano, Italy), DOMINIQUE ROUILLARD (National School of Architecture Paris Malaquais, France), ROBERTO PIETROFORTE (Worcester Polytechnic Institute, USA), CARMINE PISCOPO ('Federico II' University of Napoli, Italy), LUIGI SANSONE (Art Reviewer, Milano, Italy), ANDREA SCIASCIA (University of Palermo, Italy), FEDERICO SORIANO PELAEZ (Polytechnic University of Madrid, Spain), BENEDETTA SPADOLINI (University of Genova, Italy), CONRAD THAKE (University of Malta), FRANCESCO TOMASELLI (University of Palermo, Italy), MARIA CHIARA TORRICELLI (University of Firenze, Italy), FABRIZIO TUCCI ('Sapienza' University of Roma, Italy)

Editor-in-Chief

FRANCESCA SCALISI (University of Palermo, Italy)

Editorial Board

SILVIA BARBERO (Polytechnic University of Torino, Italy), CARMELINA BEVILACQUA ('Sapienza' University of Roma, Italy), MARIO BISSON (Polytechnic University of Milano, Italy), TIZIANA CAMPISI (University of Palermo, Italy), CHIARA CATALANO (National Centre of Research – IRET, Italy), CLICE DE TOLEDO SANJAR MAZZILLI (University of São Paulo, Brazil), GIUSEPPE DI BENEDETTO (University of Palermo, Italy), ANA ESTEBAN-MALUENDA (Polytechnic University of Madrid, Spain), RAFFAELLA FAGNONI (IUAV, Italy), ANTONELLA FALZETTI ('Tor Vergata' University of Roma, Italy), ELISA MARIAROSARIA FARELLA (Bruno Kessler Foundation, Italy), RUBÉN GARCÍA RUBIO (Tulane University, USA), MANUEL GAUSA (University of Genova, Italy), PILAR CRISTINA IZQUIERDO GRACIA (Polytechnic University of Madrid, Spain), DANIEL IBAÑEZ (IAAC – Institute for Advanced Architecture of Catalonia, Spain), PEDRO ANTÓNIO JANEIRO (University of Lisbon, Portugal), MASSIMO LAURIA ('Mediterranea' University of Reggio Calabria, Italy), INA MACAIONE (University of Basilicata, Italy), FRANCESCO MAGGIO (University of Palermo, Italy), FERNANDO MORAL-ANDRÉS (Universidad Nebrija in Madrid, Spain), DAVID NESS (University of South Australia, Australia), ELODIE NOURRIGAT (Ecole Nationale Supérieure d'Architecture Montpellier, France), ELISABETTA PALUMBO (University of Bergamo, Italy), FRIDA PASHAKO (Municipality of Tirana, Albania), JULIO CESAR PEREZ HERNANDEZ (University of Notre Dame du Lac, USA), PIER PAOLO PERRUCCIO (Polytechnic University of Torino, Italy), ROSA ROMANO (University of Firenze, Italy), DANIELE RONSIVALLE (University of Palermo, Italy), MONICA ROSSI-SCHWARZENBECK (Leipzig University of Applied Sciences, Germany), DARIO RUSSO (University of Palermo, Italy), MICHELE RUSSO ('Sapienza' University of Roma, Italy), MARICHELIA SEPE ('Sapienza' University of Roma, Italy), MARCO SOSA (Zayed University, United Arab Emirates), ZEILA TESORIERE (University of Palermo, Italy), ANTONELLA TROMBADORE (World Renewable Energy Network, UK), ALESSANDRO VALENTI (University of Genova, Italy), GASPARE MASSIMO VENTIMIGLIA (University of Palermo, Italy), ANTONELLA VIOLANO ('Luigi Vanvitelli' University of Campania, Italy), ALESSANDRA ZANELLI (Polytechnic University of Milano, Italy)

Assistant Editors

MARIA AZZALIN ('Mediterranea' University of Reggio Calabria, Italy)
GIORGIA TUCCI (University of Genova, Italy)

Graphic Designer

MICHELE BOSCARINO

Executive Graphic Designer

ANTONELLA CHIAZZA, PAOLA LA SCALA

Web Editor

PIETRO ARTALE

Il Journal è stampato con il contributo degli Autori che mantengono i diritti sull'opera originale senza restrizioni.
The Journal is published with fund of the Authors whom retain all rights to the original work without any restrictions.

AGATHÓN adotta il sistema di revisione del double-blind peer review con due Revisori che, in forma anonima, valutano l'articolo di uno o più Autori. I saggi nella sezione 'Focus' invece non sono soggetti al suddetto processo di revisione in quanto a firma di Autori invitati dal Direttore Scientifico nella qualità di esperti sul tema.

The AGATHÓN Journal adopts a double-blind peer review by two Referees under anonymous shape of the paper sent by one or more Authors. The essays on 'Focus' section are not subjected to double-blind peer review process because the Authors are invited by the Scientific Director as renowned experts in the subject.

AGATHÓN | International Journal of Architecture Art and Design
Issues for year: 2 | ISSN print: 2464-9309 | ISSN online: 2532-683X

Registrazione n. 12/2017 del 13/07/2017 presso la Cancelleria del Tribunale di Palermo
Registration number 12/2017 dated 13/07/2017, registered at the Palermo Court Registry

Editorial Office

c/o DEMETERA Ce.Ri.MED. | Via Filippo Cordova n. 103 | 90143 Palermo (ITA) | E-mail: redazione@agathon.it

AGATHÓN è stata inclusa nella lista ANVUR delle riviste di classe A per l'area 08 e i settori 08C1, 08D1, 08E1 e 08E2 a partire dal volume 1 del 2017.

AGATHÓN has been included in the Italian ANVUR list of Class A Journals for area 08 and sectors 08C1, 08D1, 08E1 and 08E2 starting from volume no. 1, June 2017.

Per le attività svolte nel 2023 relative al double-blind peer review process, si ringraziano i seguenti Revisori:

As concern the double-blind peer review process done in 2023, we would thanks the following Referees:

EMANUELE WALTER ANGELICO (University of Palermo), **FILIPPO ANGELUCCI** (University of Chieti-Pescara), **LAURA ANSELMI** (Polytechnic University of Milano), **ERNESTO ANTONINI** (University of Bologna), **EUGENIO ARBIZZANI** ('Sapienza' University of Roma), **VENANZIO ARQUILLA** (Polytechnic University of Milano), **SERENA BAIANI** ('Sapienza' University of Roma), **GINEVRA BALLETO** (University of Cagliari), **ADOLFO BARRATTA** (University of Roma Tre), **MICHELA BAROSIO** (Polytechnic University of Torino), **OSCAR EUGENIO BELLINI** (Polytechnic University of Milano), **ROBERTO BOLOGNA** (University of Firenze), **GIANLUCA BURGIO** ('Kore' University of Enna), **RICCARDO BUTINI** (University of Firenze), **RENATO CAPOZZI** ('Federico II' University of Napoli), **GIOVANNI COCCO** (University of Cagliari), **GIOVANNI CONTI** (Polytechnic University of Milano), **VINCENZO CRISTALLO** ('Sapienza' University of Roma), **VALERIA D'AMBROSIO** ('Federico II' University of Napoli), **FEDERICA DAL FALCO** ('Sapienza' University of Roma), **PAOLA DE JOANNA** ('Federico II' University of Napoli), **SALVATORE DI DIO** (University of Palermo), **EMILIA GARDA** (Polytechnic University of Torino), **CLAUDIO GERMAK** (Polytechnic University of Torino), **ANDREA GIACHETTA** (University of Genova), **MATTEO IEVA** (Polytechnic University of Bari), **ANTONINO LABALESTRA** (Polytechnic University of Bari), **LUCA LANINI** (University of Palermo), **ROBERTO LIBERTI** ('Luigi Vanvitelli' University of Campania), **SABRINA LUCIBELLO** ('Sapienza' University of Roma), **LUCIANA MACALUSO** (University of Palermo), **CARLO MARTINO** ('Sapienza' University of Roma), **PASQUALE MEI** (University of Palermo), **ANNA BRUNA MENEGHINI** ('Sapienza' University of Roma), **MARTINO MILARDI** ('Mediterranea' University of Reggio Calabria), **LUIGI MOLLO** ('Luigi Vanvitelli' University of Campania), **MASSIMO MUSIO-SALE** (University of Genova), **EMANUELE PALAZZOTTO** (University of Palermo), **INGRID PAOLETTI** (Polytechnic University of Milano), **GABRIELLA PERETTI** (Polytechnic University of Torino), **SILVIA PERICU** (University of Genova), **ADELLINA PICONE** ('Federico II' University of Napoli), **CLAUDIO PIFERI** (University of Firenze), **RICCARDO POLLO** (Polytechnic University of Torino), **MANUELA RAITANO** ('Sapienza' University of Roma), **LAURA RICCI** ('Sapienza' University of Roma), **GIUSEPPE RIDOLFI** (University of Firenze), **CHIARA RIZZI** (University of Basilicata), **VALENTINA ROGNOLI** (Polytechnic University of Milano), **PAOLA SCALA** ('Federico II' University of Napoli), **ANTONELLO MONSÙ SCOLARO** (University of Sassari), **ETTORE SESSA** (University of Palermo), **ANDREA TARTAGLIA** (Polytechnic University of Milano), **ENZA TERSIGNI** ('Federico II' University of Napoli), **NICOLETTA TRASI** ('Sapienza' University of Roma), **MARCO TRISCIUOGGIO** (Polytechnic University of Torino), **GIUSEPPE TROMBINO** (University of Palermo), **NICOLETTA TRASI** ('Sapienza' University of Roma), **DAVIDE TURRINI** (University of Ferrara), **ALBERTO ULISSE** ('Gabriele D'Annunzio' University of CHIETI-PESCARA), **RENATA VALENTE** ('Sapienza' University of Roma), **CALOGERO VINCI** (University of Palermo), **THEO ZAFFAGNINI** (University of Ferrara).

Editoriale | Editorial**Cesare Spósito***Co-Scientific Director**Associate Professor of Architectural Technology
University of Palermo***Arch. Ph.D. Francesca Scalisi***Editor-in-Chief**Assistant Professor of Design
University of Palermo***Riflessioni e traiettorie di ricerca interdisciplinari sulla transizione energetica**
Reflections and trajectories for interdisciplinary research on the energy transition

Il Volume 15 di AGATHÓN segue i precedenti su Innovability® | Transizione Digitale e Innovability® | Transizione Ecologica, consapevoli della sua incalzante attualità, ma anche del portato che la proposta di una triplice chiave di interpretazione suggerisce. Nell'introduzione ai volumi 12 e 13 abbiamo richiamato il Rapporto Brundtland del 1987 nel quale si affermava la necessità di una nuova sostenibilità dello sviluppo per l'Umanità (UN, 1987) e si faceva velato riferimento alla 'teknè', cioè alla capacità di elaborazione da parte dell'Uomo di elementi presenti sul Pianeta tali da poter diventare risorse ancora sconosciute o non impiegabili con le tecnologie dell'epoca. Ambiente e Tecnologia si fronteggiano e dialogano da sempre, sicché quello che oggi chiamiamo ambiente (naturale) è già in sé frutto di un'antropizzazione perdurante e profonda della zoosfera, diventata fragile antroposfera. Nella nostra antroposfera in equilibrio instabile tra ricerca dell'artificio e volontà di tutela del Pianeta, la pandemia da Covid-19 ci ha fatto capire, tra l'altro, come il progetto della sostenibilità dello sviluppo sia un obiettivo criptico, di cui non conosciamo realmente i contorni e nel quale non possiamo operare solo in termini conservativi.

Abbiamo chiarito il significato del termine 'innovability'®, prima in uso nell'ambito delle scienze economiche e sociali, al quale si attribuisce una rinnovata forza propulsiva per un nuovo paradigma di sviluppo che esprime una delle sfide più cruciali del nostro tempo e la necessità di una 'solidale' convergenza tra le due istanze inderogabili della 'innovazione' e della 'sostenibilità', come se fossero opposte e contrastanti: al di là del termine impiegato, in un momento storico caratterizzato da emergenze ambientali, sociali ed economiche, l'Umanità promuove una sua prerogativa, l'uso delle 'cose' che la natura ci mette a disposizione per farne altro dalla loro primaria funzione (innovazione), consapevole che quelle risorse non sono inesauribili (sostenibilità). In questo contesto, che deve guardare sempre avanti, occorre progettare le nostre migliori azioni politiche e di sistema per promuovere la necessità di innovare usando bene e in modo consapevole le risorse del Pianeta. Ursula von der Leyen, nel suo discorso di investitura a Presidente della Commissione Europea nel 2019, ha chiarito che 'la trasformazione verde e quella digitale sono sfide indissociabili'; in quest'ottica l'European Green Deal (European Commission, 2019a), la Next Generation EU (European Parliament, 2020) e il New European Bauhaus (European Commission, 2021a), così come gli altri Piani nazionali (ad esempio il PNRR in Italia; Ministero dello Sviluppo Economico, 2021), assumono importanza strategica sia nel definire, in modo chiaro e univoco, le traiettorie di sviluppo futuro di un'Europa ecologica, digitale, coesa e resiliente, sia nel correggere i principali squilibri presenti nel vecchio continente, facendo convergere – pur nella eterogeneità delle condizioni degli Stati Membri – le aspettative e le istanze, di ordine generale, comuni e condivise, di cittadini e imprese. Un fil rouge quello della 'transizione' che unisce temi e dibattiti che investono al tempo stesso la scienza e la tecnologia ma anche la filosofia, l'antropologia, l'ecologia e l'economia, declinati attraverso i tanti aggettivi specialistici che ne definiscono ambiti sempre più circoscritti eppur più aperti a logiche di transdisciplinarietà, in una sorta di speciazione delle discipline e del linguaggio che richiamano nomi come Bateson, Compton, Catton and Dunlap, Carpo, Kelly, Solis, Negroponte, e ancora Jonas, Morin, Floridi, Caffo.

In questo scenario, in cui l'antropologia digitale si riconosce nel termine 'anticipazione', nella capacità di interagire con il flusso continuo dell'innovazione per costruire un nuovo ecosistema digitale, l'innovazione trova la sua collocazione ideale, si espande e si evolve superando la capacità di mettere l'uomo e i suoi bisogni al centro delle nuove proposte di valore. Questa nuova forma di 'innovazione sostenibile' non può che avere come priorità, congiunte e contemporanee, il benessere sociale e quello ambientale, tali da facilitare una transizione etica e sostenibile a beneficio dell'intera comunità (WEF, 2022a). La trasformazione antropica dello spazio è un'azione energivora che incrementa il livello di entropia, ancora molto distante da sistematici quanto diffusi approcci di tipo 'cradle to cradle' o rispettosi delle risorse non rinnovabili. Il tema non riguarda quindi gli statuti disciplinari quanto piuttosto aspetti di interdisciplinarietà e trasversalità finalizzati a orientare e favorire una 'ripresa' resiliente, sostenibile e inclusiva. La complessità del tema 'innovability'® è una delle sfide del nostro secolo poiché, se da un lato più voci evidenziano come la 'transizione ecologica' può orientare eticamente le opportunità del digitale e il report The European Double Up (Accenture, 2021) sostiene che la 'transizione digitale' si configura come strumento in grado di avviare processi condivisi altrimenti più lenti da attivare, meno pervasivi e probabilmente meno performanti, dall'altro il matrimonio tra 'verde' e 'blu' lascia intravedere non pochi problemi e contraddizioni (Floridi, 2020) fino a ipotizzare l'impossibilità di attuare la 'transizione ecologica' insieme alla 'transizione digitale' e alla 'transizione energetica' (Caffo, 2021). Ecco allora che, affinché il nuovo paradigma 'innovability' (con la sua triplice chiave di interpretazione e declinazione dei possibili approcci scientifici di ricerca e di operatività) possa trovare la massima espressione ed essere effettivamente attuato, occorre introdurre strumenti (materiali e immateriali) adeguati, nuovi, trasversali, interscalari e interdisciplinari; allo stesso tempo, appare essenziale operare per costruire e alimentare un rapporto di complementarità strategica tra ecologia, energia e digitale, un'osmosi di approcci, avanzamenti, sperimentazioni e risultati all'interno di una visione di progresso condivisa e di obiettivi comuni.

Gli obiettivi della neutralità climatica entro il 2050 e della riduzione delle emissioni di CO₂ del 55% (rispetto al livello del 1990) entro il 2030 (European Commission, 2019b, 2021b) pongono all'Unione Europea, e ancor più al resto del mondo, una serie di questioni complesse tra cui un sensibile aumento della produzione di energia 'pulita' da fonti alternative e rinnovabili, la riduzione della povertà energetica, una maggiore sicurezza delle forniture energetiche e una drastica riduzione della dipendenza dalle importazioni di energia; parallelamente si mira a favorire una crescita economica moderna disaccoppiata dall'uso di risorse non rinnovabili, la creazione di nuovi posti di lavoro e a generare benefici per l'ambiente e la salute, obiettivi questi con inevitabili implicazioni culturali, politiche, economiche, produttive, tecnologiche

e sociali da affrontare sia all'interno dei propri confini sia in ambito di politica estera. Nonostante i diversi provvedimenti legislativi comunitari e nazionali e le cospicue risorse finanziarie stanziare in tre principali assi delle politiche climatiche (riduzione delle emissioni e dei consumi, incremento dell'efficienza energetica e aumento della quota di rinnovabili) non sembra abbiano avuto gli effetti virtuosi sperati.

I recenti Report dell'IPCC (2022a, 2023) mettono a nudo la dura verità sullo stato del clima e confermano l'urgenza di agire, segnalano che le politiche messe in atto a partire dal 2020 porteranno a un aumento della temperatura globale di 3,2 °C a fine secolo e individuano nel 2025 il limite massimo in cui iniziare a ridurre le emissioni globali. Gli stessi Report indicano che sono già disponibili gli strumenti per invertire l'attuale tendenza, ma sottolineano l'importanza di agire in modo sistemico, attraverso misure trasversali, tra cui quelle di adattamento e mitigazione equamente distribuite nelle regioni a rischio, e con processi decisionali inclusivi, trasparenti e partecipativi: in questo scenario gli aspetti legati all'energia rivestono un ruolo strategico. La transizione energetica sarà certamente costosa; secondo il World Energy Outlook 2021 (IEA, 2021) per centrare l'obiettivo di neutralità climatica al 2050 sono necessari 4.000 miliardi di dollari all'anno, un investimento ingente che deve essere gestito in modo ragionato e oculato, valutando tutte le opzioni possibili ed evitando di intraprendere soluzioni costose dall'efficacia incerta. Nel frattempo il Congresso degli Stati Uniti nel 2022 ha varato le tre leggi sul clima (Inflation Reduction Act, Bipartisan Infrastructure Law, CHIPS and Science Act) che impegnano più di 500 miliardi di dollari in crediti d'imposta, garanzie sui prestiti e altri investimenti per la transizione energetica, mentre l'Unione Europea con Repower EU e Fit for 55 ha promosso un Piano da 300 miliardi di euro, di cui 225 in finanziamenti e sovvenzioni e 75 miliardi in prestiti.

La transizione energetica è quindi complessa e difficile da attuare perché coinvolge 'tutto' ed è necessaria 'ovunque' ma anche perché a livello globale il consumo di energia primaria è in costante aumento da almeno mezzo secolo (Ritchie and Roser, 2020). Ogni attività umana richiede energia e produce gas serra e se Stati Uniti ed Europa rappresentano aree geografiche virtuose nella produzione di energia da fonti rinnovabili, il 75% della popolazione mondiale vive in economie emergenti come Brasile, Cina, India e Sudafrica che oggi sono responsabili di due terzi delle emissioni totali di gas serra, mentre la Cina da sola ne emette più di un quarto: da qui la necessità di pensare a livello globale invece che locale poiché il cambiamento climatico non è solo un pericolo in sé ma rappresenta – per dirla alla Amitav Ghosh (2017) – un 'moltiplicatore di minacce' che stressa e amplifica non solo l'instabilità e l'insicurezza già presenti in alcune aree del mondo, ma anche l'economia globale: secondo il World Economic Forum (WEF, 2021) lo scenario più catastrofico con un aumento della temperatura fino a 3,2 °C potrebbe spazzare via fino al 18% del PIL mondiale già entro la metà del secolo; tutto questo naturalmente con costi ingenti anche in termini di vite umane. Il presente è quindi connotato da una forte incertezza sulla stabilità e validità dei sistemi tecnologici, economici, produttivi, energetici e infrastrutturali dai quali la società dipende nelle pratiche quotidiane (De Certeau, 2011) e nelle dinamiche di produzione e riproduzione sociale (Lefebvre, 2016); in ragione di ciò gli studiosi concordano sul ruolo strategico della ricerca e sull'importanza della sperimentazione e dello scambio di buone pratiche in un'economia 'pulita' basata sull'uso efficiente di risorse non rinnovabili e sull'eco-innovazione di processi, prodotti e soluzioni progettuali (Höpfl et alii, 2022) per abbattere la produzione di emissioni di CO₂.

I contributi pubblicati nel Volume 15 di Agathón restituiscono approcci, strategie, misure e azioni differenti per avviare una transizione energetica capace di affrontare le sfide dei cambiamenti climatici, evidenziando la necessità di una visione sistemica fondata su una prassi metodologica di tipo interdisciplinare, multiscale e intersettoriale capace di integrare contemporaneamente saperi, professionalità, discipline e settori di produzione differenti (talvolta apparentemente poco affini) per razionalizzare e ottimizzare, combinando tecnologie tradizionali e innovative, da un lato, tutti gli aspetti che entrano in gioco nell'intervento trasformativo e nelle sue dimensioni di processo, di progetto e di prodotto, dall'altro, i flussi di materia in entrata e in uscita perché siano 'almeno' equivalenti. La prevalenza dei contributi pubblicati in letteratura scientifica sulla Transizione Energetica si fonda sul presupposto che, in un'era tra le più critiche per il nostro Pianeta, caratterizzata da importanti cambiamenti territoriali e climatici con rilevanti risvolti sociali, economici, produttivi e insediativi, l'uomo deve ribaltare il proprio punto di vista 'antropocentrico' in favore di una visione nella quale non è più il 'soggetto ordinatore' ma uno dei tanti componenti di un complesso ecosistema costituito da esseri viventi e umani, flora e fauna.

Perseguire il solo obiettivo di riduzione degli impatti ambientali senza riconsiderare un uso meno indiscriminato delle risorse naturali e non rinnovabili e la loro rilevanza per la nostra sopravvivenza sembra un modo semplicistico di affrontare il problema poiché non mette in discussione il modello di sviluppo che ha generato l'attuale stato di emergenza; ciò in ragione del fatto che il cambiamento climatico è uno dei sei limiti planetari che richiedono un'attenzione urgente e che anche altri, tra cui la perdita di biodiversità, sono stati già superati (Rockström et alii, 2023). Mentre la risposta all'emergenza climatica viene spesso enfatizzata in termini di 'decarbonizzazione', promuovendo una transizione energetica basata sulle energie rinnovabili e sul miglioramento dell'efficienza energetica dell'ambiente costruito, il recente riconoscimento – da parte dell'IPCC (2022b) e della COP28 tenutasi negli Emirati Arabi nel 2023 – dell'importanza del carbonio incorporato ha stimolato un approccio basato sulla 'sufficienza' per ridurre il consumo di nuovo suolo, le emissioni di carbonio, la perdita di biodiversità e le disuguaglianze e per rispondere alle esigenze degli utenti con i nuovi servizi resi possibili dalla digitalizzazione (Ness, 2024).

Altri documenti di politiche internazionali e nazionali, tra in Italia il Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (MASE, 2023), individuano per l'adattamento e la mitigazione dei cambiamenti climatici azioni di tipo 'soft', che non richiedono interventi strutturali e materiali diretti, ma che sono comunque propedeutiche alla realizzazione di questi ultimi: esse contribuiscono alla causa climatica tramite azioni di informazione e sensibilizzazione, sviluppo di processi organizzativi e partecipativi e gover-

nance, agendo sulla domanda di energia attraverso cambiamenti socio-culturali e comportamentali. Le azioni 'soft', robuste, flessibili e di immediata realizzazione, richiedono un minor impegno finanziario e hanno un carattere di urgenza, dovendo creare le condizioni ottimali di governo del territorio, per una efficace pianificazione e la successiva attuazione di interventi strutturali. Una 'alfabetizzazione climatica' attraverso programmi educativi e informativi sulla portata della sfida climatica e dei rischi dovuti ai consumi eccessivi di energia e risorse naturali può aumentare la consapevolezza che anche il singolo può dare il proprio contributo. In quest'ottica sono da leggersi i recenti allestimenti di Dotdotdot (Valenti et alii, 2024) e i Centri del Riuso e del Riparo all'interno della rete Surpluse il cui allestimento assume la funzione di touchpoint di un servizio, con il duplice fine di stimolare nuovi comportamenti all'interno di una comunità e di attivare uno spazio critico di riflessione tra ambiti disciplinari differenti a supporto delle strategie di sostenibilità ed economia circolare (Olivastri and Tagliasco, 2024).

Se è acclarato che il cambiamento climatico è un fenomeno globale che manifesta i propri effetti a livello locale e regionale, un recente Rapporto dell'ISPRA (2023) rileva che le città, pur coprendo solo il 2% della superficie terrestre, sono responsabili del 70% delle emissioni di gas serra di tutto il Pianeta, spinte dall'elevato impiego di energia del settore edilizio e dei trasporti. Al contempo le città sono luoghi molto fragili e vulnerabili ai cambiamenti climatici, esposte ad eventi meteorologici estremi sempre più frequenti con livelli di rischio un tempo inimmaginabili. In questi luoghi si concentra quindi la ricerca di strategie, percorsi, misure e azioni per la mitigazione e l'adattamento ai cambiamenti climatici con un approccio che mutua la centralità dell'uomo con quella dell'ecosistema. Significative a tal proposito sono le consultazioni internazionali che nell'ultimo decennio sono state tenute a Ginevra e Lussemburgo nell'ambito del processo di transizione ecologica avviato dalle due città. Superando la statica visione della tradizionale 'pianificazione' che delinea un obiettivo specifico per un orizzonte 'chiuso', le consultazioni promuovono la 'previsione strategica' capace di orientare – senza dare per assoluti dati, analisi e raccomandazioni – le comunità locali verso percorsi di sviluppo a zero emissioni di carbonio. In particolare la consultazione Lussemburgo in Transizione (LIT) rappresenta una evoluzione della prima in quanto ha permesso di formulare 'visioni' più informate e avanzate per l'organizzazione futura delle aree e dei territori urbani, spaziando dalla scala regionale a quella dei singoli edifici; concentrandosi più sul percorso che non sui risultati, LIT ha consentito di mettere a punto gli indicatori chiave per gestire la transizione e responsabilizzare gli stakeholder (Mantziaras, 2024). In chiave di previsione e prefigurazione di scenari, diverse sono le metodologie che indagano le relazioni fra progetto e futuro / anticipazione (Design for Public Utilities, Radical Design, Design Thinking, Human-centred Design, Speculative Design, Responsible Design, Design for Social Innovation, Systemic Design e Design for Sustainable Behavior, Design for Sustainability Transition) spaziando dalla micro alla macro scala, dal punto di vista materiale e immateriale. Altre due metodologie sono il Transition Design e l'Advanced Design, due approcci che integrano alla sostenibilità una dimensione chiave della transizione che è la circolarità, modificando continuamente prospettiva fra bisogni dell'utente e implicazioni sistemiche del processo di sviluppo: le transizioni rimangono 'aperte' e speculative per evolversi sulla base delle conoscenze acquisite in un determinato punto temporale. In tale ottica prende corpo una nuova figura professionale con competenze avanzate in studi di anticipazione e transizione, una spiccata consapevolezza critica sulle implicazioni sociali e ambientali del progetto e una capacità di contribuire allo sviluppo di modelli per 'visioni' improntate a circolarità, sostenibilità, responsabilità e transizione in un ambiente in costante mutamento (Zannoni et alii, 2024).

Un altro tema di rilevante interesse per la transizione energetica è quello delle 'smart cities' e della loro capacità 'resili(g)ente' (Gausa, 2019), nella misura in cui possono rappresentare un modello di sviluppo sostenibile anche per le infrastrutture di mobilità e indirizzare verso modelli a-spaziali nei quali le geometrie complesse delle reti tecnologiche si innestano nei modelli urbani preesistenti. Nello specifico, in un'ottica di neutralità carbonica e climatica, si evidenziano le potenzialità delle 'reti stradali urbane intelligenti' – reti di mobilità della 'smart city' sulle quali intervengono sinergicamente qualità e caratteristiche tanto di infrastrutture quanto di dispositivi materiali e immateriali – e in particolare dei 'veicoli intelligenti autonomi', una tipologia di mezzo di locomozione basato su IoT e big data. La loro natura ibrida sovrverte le tradizionali divisioni tra mobilità privata e pubblica e tra percorsi pedonali e percorsi veicolari, consentendo di ridefinire un nuovo rapporto strada / edificio, ma anche una nuova visione della mobilità basata su tecnologie innovative con ridotte emissioni inquinanti di cui sono sperimentazioni rilevanti quelle di Woven City in Giappone, estesa su settanta ettari e attraversata da veicoli autonomi futuristici che viaggiano a velocità diverse fornendo una pluralità di servizi agli utenti, e di Gwangmyeong in Corea del Sud, con i suoi 'smart trams', veicoli autonomi dall'aspetto tradizionale ideati come piccole stanze autonome in movimento in cui svolgere funzioni collettive e itineranti, capaci di definire un nuovo modello mobilità basato sul concetto di 'spazio flessibile', integrazione tra 'spazio fisico' e 'spazio digitale' (Bruno et alii, 2024).

Una ulteriore questione di rilievo per lo sviluppo delle città è da mettere in relazione con le previsioni dell'Organizzazione delle Nazioni Unite per l'Agricoltura e l'Alimentazione (FAO) sull'aumento della domanda alimentare di circa il 60% entro il 2050 e con il riconoscimento nel 2019 dell'importanza dell'Agricoltura urbana all'interno del quadro per l'Agenda Alimentare Urbana per la sua capacità multifunzionale di fornire cibo fresco e soddisfare i bisogni nutrizionali di base attraverso la coltivazione di frutta e verdura, con numerosi benefici diretti e indotti su salute e sicurezza alimentare (Marino et alii, 2020). In ragione del fatto che entro il 2050 i due terzi della popolazione mondiale vivrà nelle città (United Nation, 2022) e che l'impatto visibile dei cambiamenti climatici e dei recenti conflitti mondiali sui sistemi agricoli comporta un calo della produttività agricola (BCFN and MUFPP, 2018), sembra necessario strutturare filiere produttive che consentano alle città un livello minimo di autosufficienza alimentare attraverso metodi e modalità di produzione agricola interne al perimetro urbano. Le esperienze di rigenerazione urbana, di tipo bottom-up avviate da abitanti attivi, con la realizzazione di giardini comunitari (Orchard Park) per la

produzione alimentare, si sono mostrate iniziative capaci di generare diversi benefici, dalla produzione di cibo resiliente e sostenibile alla riduzione delle distanze di approvvigionamento, dalla riduzione degli sprechi all'aumento della coesione sociale, promuovendo consapevolezza e valorizzando una nuova identità culturale nel contesto delle sfide sostenibili, sociali e ambientali del nuovo millennio (Follesa et alii, 2024). È da rilevare che le tecniche di produzione agricola hanno un peso rilevante sulla questione energetica a tal punto che oggi la comunità scientifica riaccende l'interesse per le 'tecnologie appropriate' la cui definizione ha radici profonde nel contesto post-coloniale degli anni Sessanta: la necessità di fornire sostegno ai Paesi allora definiti del Terzo Mondo spinse Ernst Friedrich Schumacher (1974) a introdurre la definizione sottolineando l'importanza di sviluppare tecniche adeguate alle risorse e necessità di ciascun contesto locale che fossero altresì efficienti, replicabili e rispettose di diverse culture e ambienti. L'obiettivo di allora di adottare una tecnologia più efficiente delle pratiche indigene, ma più economica rispetto a quella industriale per favorire investimenti locali e decentralizzazione, è oggi esteso a mettere a punto approcci sostenibili ed equi, di riconnessione con i cicli naturali e dal basso consumo energetico come l'orticoltura indoor, la coltura idroponica, l'agricoltura verticale, la permacultura, il low-tech e il solarpunk quali punto di partenza per di un paradigma progettuale 'energy-driven' (Vacanti and Carmelo, 2024).

All'interno del dibattito scientifico e rispetto alla transizione energetica il Patrimonio con valenza storico-culturale emerge come un pilastro fondamentale della 'innovability', suggerendo una importante lezione desunta dalla cultura architettonica e tecnico-costruttiva in ambito mediterraneo, le cui tipologie edilizie e tecnologie tradizionali passive si rilevano particolarmente efficaci nell'efficientamento energetico degli edifici. Tuttavia il valore storico-culturale di un Bene non lo sottrae alle nuove sfide della contemporaneità rigettando a priori l'implementazione di nuove tecnologie finalizzate a ridurre l'impatto ambientale e massimizzarne le prestazioni energetiche: gli esempi delle Cattedrali di Gloucester e York e della Sala delle Udienze Paolo VI nella Città del Vaticano dimostrano come una simbiosi tra passato e presente sia possibile e l'installazione di pannelli fotovoltaici non è solo auspicabile ma necessaria per proiettare il Patrimonio verso un futuro più sostenibile (Casanovas, Campanero and Campisi, 2024).

Il binomio Patrimonio Culturale ed efficienza energetica è centrale nel dibattito internazionale e per orientare gli interventi sul Patrimonio l'ex Ministero per i Beni e le Attività Culturali e per il Turismo (MiBACT) ha promosso le Linee di Indirizzo per il Miglioramento dell'Efficienza Energetica nel Patrimonio Culturale (Battisti et alii, 2015): a partire dalla Legge 9 gennaio 1991 n. 10, dal Decreto Legislativo 19 agosto 2005 n. 192 e dalla Direttiva 2010/31/UE (The European Parliament and the Council of the European Union, 2010), il testo affronta il tema della diagnosi energetica quale fase conoscitiva preliminare alla scelta delle soluzioni più efficaci al fine di 'evitare effetti negativi sulla conservazione delle caratteristiche distintive' del Patrimonio. Per perseguire le transizioni ecologica ed energetica dei processi edilizi possiamo utilizzare anche altri strumenti tra cui i Criteri Ambientali Minimi (Ministero della Transizione Ecologica, 2022), i materiali dotati di 'conformità CAM', le etichettature di prodotto e i passaporti digitali di prodotto con l'obiettivo di valorizzare il contenuto minimo di riciclato, la biodegradabilità, l'ecocompatibilità, il basso contenuto di composti organici volatili e la tracciabilità dei materiali (Curto, Garzulino and Turrina, 2024).

I siti industriali dismessi costituiscono un particolare tipo di Patrimonio che può assumere la valenza di risorsa strategica per il raggiungimento degli obiettivi di transizione energetica ed economia circolare. In particolare il loro riuso adattivo può creare la condizione sia per conservare la memoria delle attività originarie, sia per attivare nuovi cicli, attraverso azioni di rigenerazione con nuove funzionalità, valorizzando le testimonianze per metterle al servizio della comunità locale, ma anche attraverso un ecosistema circolare finalizzato a gestire i flussi materici, energetici ed ecologici tramite la produzione di energia a zero emissioni da scarti o rifiuti, il riuso di componenti e materiali da decostruzione e il 'reversible building design' (Baiani et alii, 2024). Il progetto di rigenerazione di queste aree dismesse all'interno di agglomerati urbani di medie dimensioni può essere reinterpretato dalle comunità locali anche come potenziale rete energetica, sviluppando logiche di consumo di suolo zero e processi di retro-innovazione; tale opportunità trova supporto nella Strategia Europea sull'Idrogeno (European Commission, 2021c) e nel Piano REPowerUE (European Commission, 2022a) poiché si prevede che entro il 2050 l'idrogeno rinnovabile troverà applicazione a diverse scale, dai cluster locali agli hub territoriali Hydrogen Valleys intesi come comunità di produzione locale di idrogeno da fonti energetiche rinnovabili decentralizzate, di stoccaggio, di trasporto a breve distanza e di utilizzo per scopi diversificati (Battisti and Calvano, 2024).

Di questi particolari Beni può essere considerato non solo il patrimonio architettonico ma anche i rapporti tra l'architettura e il suo paesaggio, tra l'ambiente costruito e i sistemi territoriali, valorizzando le caratteristiche ecologiche dei siti che per la città costituiscono un importante serbatoio di biodiversità; in questi casi l'azione di 'riconversione' supera quella di 'sostituzione' delle funzioni e diviene 'ricucitura' delle relazioni nella prospettiva di ridisegno complessivo della città. Una riflessione sul tema la stimolano numerosi interventi – l'area industriale di Gruze, l'ex-Gasometro nella Città di Münster, il Campus Malaga, l'Ecoboulevard a Vallecas, il Lyon Confluence e l'Île Seguin a Parigi, solo per citarne alcuni – che, seppur con il loro carattere eterogeneo per temi, modi e linguaggi, hanno in comune il merito di affrontare contestualmente il tema del riuso, della rinaturalizzazione dei suoli e del verde come paradigma di un progetto che colloca il sistema paesaggistico e territoriale al centro della discussione (Pirina, Comi and d'Abramo, 2024). Gli orizzonti di decarbonizzazione e di neutralità climatica pongono anche a tutto il Patrimonio edilizio del '900 e della città moderna questioni che lo coinvolgono in una riqualificazione energetica sia aggiornando i propri statuti e riformulando i principi compositivi su aggetti, portici, corti, loggiati, schermature, flessibilità d'uso, variabilità di funzioni e tridimensionalità di tetti e facciate, per governare attraverso gli elementi naturali (acqua, luce e vegetazione) la complessità della condizione contemporanea (Marsala and Renda, 2024), sia facendo tesoro delle esperienze maturate con la tipologia edilizia della Scuola.

In particolare ci si riferisce alle strategie 'circolari' utilizzate per la demolizione e ricostruzione della Scuola 'Cino da Pistoia' nel Comune di Pistoia (IT) che garantiscono consumi energetici pari allo zero (at-

traverso scelte di involucro e di impianto adeguate) e ottimizzano gli impatti globali (incorporati e operativi) del suo intero ciclo di vita (Palumbo, Romano and Gallo, 2024) e al progetto CIS Roma Scuole Verdi (Clemente et alii, 2024) in cui 111 edifici scolastici distribuiti nei 15 Municipi del Comune di Roma sono stati oggetto di interventi tecnologici finalizzati al miglioramento della prestazione energetica globale del sistema edificio / impianto (mediamente di quattro classi energetiche), all'abbattimento delle emissioni di CO₂ (in media del 56% circa), alla riduzione del fabbisogno di energia primaria totale in generale (in media del 46% circa) e all'aumento della quota di produzione di energia rinnovabile (in media del 20% circa); tali risultati assumono particolare rilevanza se si considera l'impatto che le soluzioni progettuali hanno non tanto sul singolo edificio, quanto sugli immobili nel loro complesso rispetto a una programmazione a larga scala degli interventi. Un altro progetto pilota sviluppato su un Istituto di istruzione superiore del Comune di Giugliano in Campania (IT) ha utilizzato la Scuola come hub e fulcro di una comunità perimetrata secondo logiche di raggi di influenza, bacini di utenza e risorse comuni gestibili; i risultati ottenuti dal progetto dimostrano come sia possibile mettere in campo con un approccio sistemico adeguate soluzioni ambientali per la gestione integrata e condivisa di energia, il potenziamento della vegetazione e delle superfici drenanti e il riciclo delle acque meteoriche (Valente et alii, 2024), con benefici per tutta la comunità di riferimento.

Innovazione tecnologica e partecipazione attiva dei cittadini costituiscono due fattori chiave attraverso cui è possibile raggiungere gli ambiziosi obiettivi di decarbonizzazione; in tal senso le Comunità Energetiche Rinnovabili (CER) definiscono validi modelli per promuovere la transizione verso un sistema energetico competitivo improntato alla decarbonizzazione, democratizzazione e decentralizzazione del settore. Due esempi virtuosi sono Hannover e Amsterdam, precursori di modelli sperimentali di distretti energetici replicabili e trasferibili in altri contesti, poiché sensibilità diffusa, opportunità politica e necessità economica sembrano ormai convergere ed essere pronte per rispondere alla sfida sociale e progettuale della contemporaneità. Il confronto dei due esempi con quelli più tradizionali fa emergere una innovazione di modello che va nella direzione del 'distretto energetico collaborativo' e dell'infrastruttura 'peer to peer', mutando il concetto di comunità energetica da 'scambiatore di energia indiretto' in forme decentralizzate dove tutta l'energia consumata è prodotta localmente da micro-comunità sempre più consapevoli e organizzate in distretti autosufficienti (Crippa et alii, 2024). Particolari forme innovative di comunità sono quelle che, ispirate al programma del New European Bauhaus, favoriscono l'interconnessione di persone, flora, fauna e mondo geofisico, ovvero di ecosistemi, storie, tecnologie, istituzioni e culture (Chakrabarty, 2009), coniugando politiche di azione per il clima e 'pratiche e comportamenti' di rispetto dell'ecosistema. Esempio è il progetto della Lighthouse di Nepi in cui, attraverso la sinergia di scienza, innovazione, arti e culture, si avvia una trasformazione del territorio e dello spazio pubblico che acquisisce 'potere abilitante' verso la 'consapevolezza energetica' promuovendo pratiche di condivisione che mirano alla costituzione di comunità (anche) energetiche nelle quali l'attenzione non è tanto rivolta alle performance quanto ai comportamenti che la comunità stessa promuove (Montuori, Converso and Rabazo Martin, 2024).

Se i casi citati costituiscono buone pratiche replicabili che possono accelerare il raggiungimento degli obiettivi di neutralità carbonica e climatica, esistono barriere 'strutturali' che ne possono ostacolare la diffusione prime tra tutte la mancata partecipazione dei cittadini, fortemente auspicata e promossa dalla Commissione Europea, e la scarsa rappresentatività dei diversi gruppi sociali, soprattutto quelli più fragili. Una soluzione sembra offrirlo il concetto di cittadinanza energetica (Montalvo et alii, 2021) che, pur abbracciando i complessi sistemi energetico-tecnologico e sociale, può dotarsi di uno strumento e di un modello analitico per abilitare la governance, monitorarne l'impatto, gestire le complesse dinamiche sociali in gioco, fornire informazioni adeguate a guidare le decisioni e a rendere più 'leggibili' i dati energetici: l'Energy Citizenship Contract, sviluppato dal progetto H2020 – GRETA, appare utile allo scopo soprattutto per la sua adattabilità in contesti diversi (Boeri et alii, 2024). Il potenziale delle Comunità Energetiche Rinnovabili (CER) può essere sfruttato anche nel settore produttivo, soprattutto driver per quelle aree interne caratterizzate da spopolamento, isolamento e debolezza economica, attraverso una valorizzazione delle risorse di tipo circolare e rigenerativo, promuovendo la filiera corta, investendo nelle energie rinnovabili e nell'economia verde, valorizzando il patrimonio per sviluppare modelli di turismo sostenibile, agevolando la digitalizzazione e rafforzando la collaborazione tra pubblico e privato. La valorizzazione delle attività rurali ad alto valore aggiunto richiede tuttavia di affinare e integrare azioni di elevata complessità, mettendo a rete conoscenze e competenze innovative dal punto di vista imprenditoriale, tecnologico e sociale. Al riguardo una sperimentazione promettente sembra essere quella in corso a Taranta Peligna (Chieti, IT) che mira a valorizzare la filiera della lana attraverso un approccio sistemico, co-progettuale e di collaborazione tra Enti, Istituzioni e comunità locali: soluzioni innovative e sostenibili al pari di processi tradizionali concorrono a strutturare una rete per rigenerare un'economia locale a impatto ridotto, dando vita a una comunità energetica, a centri di lavaggio sostenibili e a un Osservatorio di rete (Gaddi and Mastrodonardo, 2024).

Il rapporto tra infrastruttura e paesaggio rappresenta una delle questioni critiche ancora irrisolte, soprattutto in alcuni contesti culturali come quello italiano: le infrastrutture per la produzione energetica sono infatti considerate, per le loro dimensioni ed estensioni nell'ambiente naturale, come elemento che deturpa profondamente il territorio. Occorre quindi avviare una riflessione sul tema richiamando Thrän, Gawel e Fiedler (2020) secondo i quali i 'paesaggi energetici' riassumono i modelli paesaggistici tradizionali, le potenzialità delle risorse rinnovabili, le unità di conversione e le relative infrastrutture, ma anche le comunità che li 'abitano' e li 'vivono' a vario titolo e i processi socio-economici ad esse correlati; allo stesso tempo i paesaggi energetici sono in grado di garantire molteplici funzioni come la produzione di cibo e materiali, la protezione della natura e la biodiversità. In una tale ottica questi particolari paesaggi condividono un sistema di nodi di produzione e di reti di trasmissione e distribuzione dell'energia che possono integrarsi con i contesti esistenti, in quanto storicamente determinati, e costituire un altro 'corpus' infrastrutturale da prendere in considerazione nel progetto rispetto alla dimensione 'percettiva' – oggi questione privilegiata dalle norme di tutela paesaggistica – ma anche nel 'disegno del suolo' e nella correlazione tra suolo, architetture

ra e paesaggio, come dimostrato dai progetti dei parchi eolici de l'Auleda e di Roseto Valfortore o i parchi agrivoltaici nella regione catalana di Penedès e a Castellfollit del Boix (Peghin, 2024).

Decarbonizzazione e neutralità climatica rappresentano due sfide complesse che non possono essere affrontate senza mettere in gioco la sostenibilità di processi, progetti, soluzioni e azioni per generare benefici all'intero ecosistema. Gli strumenti digitali si stanno affermando come fattore chiave per affrontare la complessità di tali sfide ed elemento di valore del nuovo ecosistema globale, tanto che la fondazione World Economic Forum (WEF, 2022b) ha stimato che il loro impiego potrebbe consentire una potenziale riduzione del 15% delle emissioni globali di carbonio. Il loro utilizzo può essere trasversale a tutte le scale del progetto, finanche a quella urbana dove gli elementi che contribuiscono alle emissioni di gas a effetto serra sono molteplici e variegati. In questo contesto emergono le potenzialità del Gemello Digitale Urbano (GDU) che sembra fornire un quadro olistico e interconnesso di ogni aspetto della vita in città e, di conseguenza, della gestione delle aree urbane, attraverso modelli, scenari e simulazioni utili a prevedere e attivare misure e politiche guidate dai dati. Tuttavia se da un lato al fulcro di questa trasformazione c'è la convergenza di tecnologie avanzate e 'mature', come l'Intelligenza Artificiale, l'Internet of Things, la Realtà Aumentata e i modelli BIM, dall'altro rimangono da risolvere questioni legate alla raccolta e integrazione dei dati, al superamento dei problemi di privacy e all'abilitazione di una governance multi-stakeholder. Mentre in Europa i primi esempi di GDU sono rintracciabili a Helsinki, Zurigo, Amsterdam e Dublino, in Italia la Città di Bologna sta sperimentando, attraverso i progetti H2020 GRETA e +CityxChange, il suo Gemello Digitale con l'obiettivo di definire un framework metodologico di modellazione energetica, abilitato da un prototipo semplificato ma incrementale di GDU che consente di generare analisi e simulazioni calibrate su obiettivi più ampi della decarbonizzazione (Longo et alii, 2024).

Digitalizzazione e tecnologie innovative possono migliorare l'efficienza e la flessibilità della produzione industriale, promuovendo il concetto di 'fabbrica intelligente' basato su un nuovo ecosistema fabbrica-uomo capace di restituire informazioni di varia natura, dalla gestione del fabbricato e dei processi produttivi al comfort dei lavoratori, ottimizzando le risorse utilizzate per ridurre produzione di rifiuti ed emissioni climateranti. In tal senso sono di interesse quelle ricerche che mirano a mettere a punto una procedura di interoperabilità per trasferire il dato da una piattaforma di modellazione proprietaria (BIM authoring) a quelle di analisi specifica (Building Energy Models – BEMs): attraverso GD, big data, realtà estesa e algoritmi di Intelligenza Artificiale, con l'integrazione di sensori intelligenti, piattaforme basate su Gemelli Digitali Energetici e interfacce grafiche user-friendly che migliorano l'interoperabilità è possibile generare un'attività semi-automatica propria dell'Industria 5.0 in grado di prefigurare diversi scenari predittivi e programmati di una specifica attività (Osello et alii, 2024). Le tecnologie dell'informazione e della comunicazione hanno rivoluzionato l'economia, l'industria e le società del nostro tempo trovando applicazione anche negli spazi urbani in cui l'innovazione e la sostenibilità si integrano per creare un nuovo modo di vivere nelle città. Proprio in questo ambito, del quale bisogna riconoscere la natura dinamica e in continua evoluzione, può trovarsi la soluzione per affrontare la cogente sfida sui cambiamenti climatici, in quanto esso rappresenta una complessa interfaccia tra l'uomo e l'ambiente circostante. Tale complessità può essere risolta con la sinergia tra un approccio integrato e multi-scalare che prende in esame le relazioni tra macro e micro-scala, dal livello urbano fino al dettaglio costruttivo, e l'utilizzo di modelli di valutazione e indicatori (Azzalin, 2024). Questi ultimi possono supportare le decisioni nella simulazione dei microclimi urbani basati sulla modellazione fisica dei fenomeni climatici al fine di migliorare il comfort individuale, raggiungere gli obiettivi di prestazione ambientale, mitigazione climatica, contenimento dei consumi energetici, sicurezza ed efficienza delle infrastrutture tecnologiche, degli spazi aperti e degli edifici e valutare il grado di circolarità e i benefici ambientali conseguibili, ad esempio, attraverso il riuso di oggetti o di componenti edilizi in progetti di riqualificazione del costruito (Coccia, Cipolletti and Corvaro, 2024; Zarcone, Nava and Tucci, 2024; Tzortzi, Lux and Pardo Delgado, 2024; Paganin et alii, 2024).

Il quadro teorico e sperimentale presentato restituisce una sintesi dei temi trattati nel Volume 15 di AGATHÓN che dimostra come le transizioni energetica, ecologica e digitale possano contribuire sinergicamente al raggiungimento degli obiettivi di decarbonizzazione e neutralità climatica. I contributi pubblicati in forma di saggi e ricerche appaiono coerenti con il 2022 Strategic Foresight Report (European Commission, 2022b) basato sulla relazione del JRC dal titolo Towards a Green and Digital Future – Key Requirements for Successful Twin Transitions in the European Union (Muench et alii, 2022) e fondato sui concetti chiave di: a) transizioni 'gemelle', come chiave di volta per un futuro sostenibile, equo e competitivo; b) transizione 'giusta', per una diffusa accettazione delle soluzioni verdi e digitali al fine di mitigare i consumi e migliorare l'efficienza; c) 'approccio integrato' alle sfide, per massimizzare i benefici delle sinergie e gestire meglio i rischi. Dai contributi pubblicati emerge la necessità di un cambio di paradigma che, da un lato, si caratterizzi per un approccio improntato alla 'sufficienza' (rispetto a nuova occupazione di suolo e realizzazione di nuove costruzioni) e all'economia circolare (per limitare l'uso di risorse non rinnovabili) capace di sfruttare le potenzialità delle tecnologie per nuovi servizi resi possibili dalla digitalizzazione, dall'altro, si fonda su una nuova consapevolezza degli utenti dei limiti del Pianeta perseguibile attraverso azioni 'soft' urgenti, robuste, flessibili e di facile realizzazione in quanto richiedono un minor impegno finanziario.

Se comunità energetiche, produzione di energia rinnovabile da idrogeno e filiere produttive possono contribuire alla mitigazione delle emissioni di gas a effetto serra, l'ingente patrimonio immobiliare esistente costituisce un ambito su cui è possibile intervenire con efficacia, anche laddove abbia una valenza storico-culturale, utilizzando strumenti come i gemelli digitali o metodologie di analisi capaci di valutare ex ante gli impatti sull'ecosistema e di prefigurare scenari per città, edifici e processi produttivi volti a uno sviluppo sostenibile e compatibile con gli obiettivi improcrastinabili fissati per il 2030 e il 2050. Queste sono alcune delle strategie, dei percorsi, delle misure e delle azioni che è possibile mettere in campo

sfruttando la disponibilità delle ingenti risorse finanziarie stanziata dai governi per le transizioni, stimolando la sensibilità degli amministratori locali, valorizzando le abilità e le competenze trasversali di tecnici e operatori del settore, ma anche e soprattutto facendo leva sulla consapevolezza degli utenti rispetto ai rischi derivanti dai cambiamenti climatici affinché si attivi una loro risposta ‘comportamentale’ sui consumi di energia e di risorse naturali non rinnovabili.

Volume 15 of AGATHÓN follows on from its predecessors on Innovability[®] | Digital Transition and Innovability[®] | Ecological Transition, aware of its pressing topicality but also of the scope that the proposal of a threefold key of interpretation suggests. In the introduction to Volumes 12 and 13, we referred to the Brundtland Report of 1987, which stated the need for a new sustainability of development for Humanity (UN, 1987) and made a veiled reference to ‘teknè’, i.e. Man’s ability to process elements present on the Planet in such a way that they could become resources as yet unknown or not usable with the technologies of the time. Environment and Technology have always faced each other and dialogued so that what we now call the (natural) environment is already the result of an enduring and profound anthropisation of the zoosphere, which has become a fragile anthroposphere. In our anthroposphere, in an unstable balance between the quest for artifice and the desire to protect the Planet, the Covid-19 pandemic has made us realise, among other things, how the project of sustainable development is a cryptic objective, the contours of which we do not really know and in which we cannot operate solely in conservative terms.

We have clarified the meaning of the term ‘innovability’[®], formerly in use in the economic and social sciences, which is attributed to a renewed driving force for a new paradigm of development that expresses one of the most crucial challenges of our time and the need for a ‘solidary’ convergence between the two inescapable instances of ‘innovation’ and ‘sustainability’, as if they were opposites and contrasts: beyond the term used, in a historical moment characterised by environmental, social and economic emergencies, Humanity promotes one of its prerogatives, the use of the ‘things’ that nature makes available to us to do something other than their primary function (innovation), aware that those resources are not inexhaustible (sustainability). In this context, which must always look forward, we must design our best political and systemic actions to promote the need to innovate by using the Planet’s resources well and consciously. Ursula von der Leyen, in her inauguration speech as President of the European Commission in 2019, made it clear that ‘green and digital transformation are inseparable challenges’; with this in mind, the European Green Deal (European Commission, 2019a), the Next Generation EU (European Parliament, 2020) and the New European Bauhaus (European Commission, 2021a), as well as other national plans (e.g. NPRR in Italy; Ministero dello Sviluppo Economico, 2021), assume strategic importance both in defining, clearly and unambiguously, the trajectories of future development of an ecological, digital, cohesive and resilient Europe, and in correcting the main imbalances present in the old continent, bringing together – despite the heterogeneous conditions of the Member States – the expectations and demands, of a general, common and shared order, of citizens and businesses. A common thread, that of ‘transition’, which unites themes and debates involving both science and Technology, but also philosophy, anthropology, ecology and economics, declined through the many specialised adjectives that define increasingly circumscribed areas and yet more open to the logic of transdisciplinarity, in a sort of speciation of disciplines and language that recalls names such as Bateson, Commoner, Catton and Dunlap, Carpo, Kelly, Solis, Negroponte, and even Jonas, Morin, Floridi, and Caffo.

In this scenario, in which digital anthropology recognises itself in the term ‘anticipation’, in the ability to interact with the continuous flow of innovation to build a new digital ecosystem, innovation finds its ideal location, expands and evolves beyond the ability to put man and his needs at the centre of the new value propositions. This new form of ‘sustainable innovation’ cannot but have joint and concurrent social and environmental well-being as its priorities, such as facilitating an ethical and sustainable transition for the entire community’s benefit (WEF, 2022a). The anthropogenic transformation of space is an energy-intensive action that increases entropy, which is still a long way from systematic and widespread ‘cradle to cradle’ or non-renewable resource-friendly approaches. Therefore, the issue is not about disciplinary statutes but aspects of interdisciplinarity and transversality aimed at guiding and fostering a resilient, sustainable and inclusive ‘recovery’. The complexity of the ‘innovability’[®] theme is one of the challenges of our century since, while several voices highlight how the ‘ecological transition’ can ethically steer the opportunities of the digital and the report The European Double Up (Accenture, 2021) argues that the ‘digital transition’ is a tool capable of initiating shared processes that would otherwise be slower to activate less pervasive and probably less performing; on the other hand, the marriage between ‘green’ and ‘blue’ leaves one glimpsing not a few problems and contradictions (Floridi, 2020) to the point of hypothesising the impossibility of implementing the ‘ecological transition’ together with the ‘digital transition’ and the ‘energy transition’ (Caffo, 2021). Hence, in order for the new ‘innovability’ paradigm (with its threefold interpretation and declination of the possible scientific approaches to research and operations) to find its fullest expression and effectively implement it, we need to introduce appropriate, new, transversal, cross-cutting and interdisciplinary (material and immaterial) tools; at the same time, it seems essential to work to build and nurture a relationship of strategic complementarity between ecology, energy and digital, osmosis of approaches, advances, experiments and results within a shared vision of progress and common goals.

The goals of climate neutrality by 2050 and the reduction of CO₂ emissions by 55% (compared to the 1990 level) by 2030 (European Commission, 2019b, 2021b) pose the European Union, and even more so the rest of the world, with several complex issues, including a significant increase in ‘clean’ energy production from alternative and renewable sources, the reduction of energy poverty, greater security of energy supply and a drastic decrease in dependence on energy imports; at the same time, the aim is

to foster modern economic growth decoupled from the use of non-renewable resources, the creation of new jobs, and to generate environmental and health benefits, objectives with inevitable cultural, political, economic, production, technological and social implications to be addressed both within one's borders and in foreign policy. Despite various European and national legislative measures and considerable financial resources allocated, the three principal axes of climate policies (reducing emissions and consumption, increasing energy efficiency and increasing the share of renewable energies) have yet to have the desired virtuous effects.

Recent IPCC (2022a, 2023) Reports lay bare the hard truth about the state of the climate and confirm the urgency to act, pointing out that policies implemented from 2020 onwards will lead to a global temperature increase of 3.2 °C by the end of the century and identifying 2025 as the upper limit at which to start reducing global emissions. The same Reports indicate that the tools to reverse the current trend are already available but underline the importance of acting systemically through cross-cutting measures, including adaptation and mitigation measures evenly distributed in regions at risk and with inclusive, transparent and participatory decision-making processes. In this scenario, energy aspects play a strategic role. The energy transition will undoubtedly be costly; according to the World Energy Outlook 2021 (IEA, 2021), an annual 4,000 billion dollars is necessary to reach the 2050 climate neutrality target, a considerable investment that must be managed in a reasoned and judicious manner, evaluating all possible options and avoiding costly solutions of uncertain effectiveness. In the meantime, the United States Congress 2022 passed the three climate laws (Inflation Reduction Act, Bipartisan Infrastructure Law, CHIPS and Science Act), engaging over 500 billion dollars in tax credits, loan guarantees and other investments for the energy transition, while the European Union with Repower EU e Fit for 55 promoted a 300 billion euro Plan, of which 225 billion in grants and loans and 75 billion in loans.

The energy transition is, therefore, complex and challenging to implement because it involves 'everything' and is needed 'everywhere' but also because globally, primary energy consumption has been steadily increasing for at least half a century (Ritchie and Roser, 2020). Every human activity requires energy and produces greenhouse gases, and while the United States and Europe represent virtuous geographic areas in the production of energy from renewable sources, 75% of the world's population lives in emerging economies such as Brazil, China, India and South Africa, which are now responsible for two-thirds of total greenhouse gas emissions. At the same time, China alone emits more than a quarter, hence the need to think globally rather than locally since climate change is not only a danger in itself but represents – in the words of Amitav Ghosh (2017) – a 'threat multiplier' that stresses and amplifies not only the instability and insecurity already present in some areas of the world but also the global economy: according to the World Economic Forum (WEF, 2021) the most catastrophic scenario with a temperature rise of up to 3.2 °C could wipe out up to 18% of the world's GDP already by mid-century; all this of course with huge costs also in terms of human lives. The present is, therefore, characterised by significant uncertainty about the stability and validity of the technological, economic, production, energy and infrastructure systems on which society depends in its daily practices (De Certeau, 2011) and the dynamics of production and social reproduction (Lefebvre, 2016); because of this, scholars agree on the strategic role of research and the importance of experimentation and the exchange of good practices in a 'clean' economy based on the efficient use of non-renewable resources and the eco-innovation of processes, products and design solutions (Höpfel et alii, 2022) to reduce CO₂.

The contributions published in Volume 15 of AGATHÓN return different approaches, strategies, measures and actions to initiate an energy transition capable of facing the challenges of climate change, highlighting the need for a systemic vision based on an interdisciplinary, multi-scalar and intersectoral methodological practice capable of simultaneously integrating knowledge, professionalism disciplines and different production sectors (sometimes apparently unrelated) to rationalise and optimise, by combining traditional and innovative technologies, on the one hand, all the aspects that come into play in the transformative intervention and its process, project and product dimensions, and, on the other, the incoming and outgoing material flows so that they are 'at least' equivalent. The preponderance of the contributions published in the scientific literature on Energy Transition rests on the assumption that, in one of the most critical moments for our Planet, characterised by significant territorial and climatic changes with relevant social, economic, productive and settlement implications, man must overturn his 'anthropocentric' point of view in favour of a vision in which he is no longer the 'authorising subject', but one of the many components of a complex ecosystem composed of living and human beings, flora and fauna.

Pursuing the sole objective of reducing environmental impacts without reconsidering a less indiscriminate use of natural and non-renewable resources and their relevance to our survival seems a simplistic way of approaching the problem since it does not question the development model that has generated the current state of emergency; this is because climate change is one of the six planetary limits that require urgent attention and that others, including the loss of biodiversity, have already been overcome (Rockström et alii, 2023). While the response to the climate emergency is often emphasised in terms of 'decarbonisation', promoting an energy transition based on renewable energy and improving the energy efficiency of the built environment, the recent recognition – by the IPCC (2022b) and the COP28 held in the United Arab Emirates in 2023 – of the importance of embodied carbon has stimulated a 'sufficiency' approach to reducing new land consumption, carbon emissions, biodiversity loss and inequalities, and to respond to user needs with the latest services made possible by digitisation (Ness, 2024).

Other international and national policy documents, including in Italy the National Plan for Adaptation to Climate Change (MASE, 2023), identify 'soft' actions for climate change adaptation and mitigation, which do not require direct structural and material interventions but are, however, preparatory to their

implementation: they contribute to the climate cause through information and awareness-raising actions, development of organisational and participatory processes and governance, acting on energy demand through socio-cultural and behavioural changes. The ‘soft’ actions, which are robust, flexible and immediately implementable, require less financial commitment and have a character of urgency, as they have to create the optimal governance conditions for effective planning and subsequent implementation of structural interventions. ‘Climate literacy’ through educational and information programmes on the magnitude of the climate challenge and the risks due to excessive energy consumption and natural resources can raise awareness that the individual can contribute. The recent Dotdotdot set-ups (Valenti et alii, 2024) and the Reuse and Shelter Centre within the Surpluse network, whose set-up acts as a touch-point of service with the dual purpose of stimulating new behaviours within a community and activating a critical space of reflection between different disciplinary fields in support of sustainability strategies and circular economy (Olivastrì and Tagliasco, 2024), should be read in this light.

Although we know that climate change is a global phenomenon that manifests its effects at the local and regional level, the recent ISPRA (2023) Report notes that cities, although covering only 2% of the earth’s surface, are responsible for 70% of the planet’s greenhouse gas emissions, due to the high-energy consumption of the building and transport sector. At the same time, cities are very fragile and vulnerable to climate change, exposed to increasingly frequent extreme weather events with once unimaginable levels of risk. The search for strategies, pathways, measures and actions to mitigate and adapt to climate change focuses here on an approach that borrows the centrality of man from that of the ecosystem. Significant in this regard are the international consultations held over the past ten years in Geneva and Luxembourg as part of the ecological transition process initiated by the two cities. Overcoming the static vision of traditional ‘planning’ that outlines a specific objective for a ‘closed’ horizon, the consultations promote a ‘strategic foresight’ capable of guiding – avoiding providing data, analysis and recommendations as absolutes – local communities towards zero-carbon development paths. In particular, Luxembourg in Transition (LiT) consultation represents an evolution of the former insofar as it allowed for the formulation of more informed and advanced ‘visions’ for the future organisation of urban areas and territories, ranging from the regional scale to that of individual buildings; by focusing more on the pathway than on the results, LiT allowed for the development of key indicators to manage the transition and empower stakeholders (Mantziaras, 2024). In terms of forecasting and prefiguring scenarios, several methodologies investigate the relationships between design and the future / anticipation (Design for Public Utilities, Radical Design, Design Thinking, Human-centred Design, Speculative Design, Responsible Design, Design for Social Innovation, Systemic Design and Design for Sustainable Behavior, and Design for Sustainability Transition) ranging from the micro to the macro scale, from the material and immaterial point of view. Two other methodologies are Transition Design and Advanced Design, two approaches that integrate sustainability with a key dimension of transition, which is circularity, continually shifting perspectives between user needs and systemic implications of the development process: transitions remain ‘open’ and speculative to evolve based on knowledge acquired at a given point in time. In this perspective, a new professional figure takes shape with advanced skills in anticipation and transition studies, a marked critical awareness of the social and environmental implications of design, and an ability to contribute to the development of models for ‘visions’ marked by circularity, sustainability, responsibility and transition in a constantly changing environment (Zannoni et alii, 2024).

Another topic of interest relevant to the energy transition is that of ‘smart cities’ and their ‘resili(g)ent capacity’ (Gausa, 2019), insofar as they can also represent a sustainable development model for mobility infrastructures and move towards a-spatial models in which the complex geometries of technological networks engage with pre-existing urban models. Specifically, from the perspective of carbon emissions and climate, we highlight the potential of ‘smart urban road networks’ – ‘smart city’ mobility networks on which the qualities and characteristics of both infrastructures and tangible and intangible devices intervene synergistically – and in particular of ‘smart autonomous vehicles’, a type of means of locomotion based on IoT and big data. Their hybrid nature subverts the traditional divisions between private and public mobility and between pedestrian and vehicular routes, allowing for the redefinition of a new road / building relationship and a new vision of mobility that relies on innovative technologies with reduced pollutant emissions. Relevant experiments include those of Woven City in Japan, extended over seventy hectares and traversed by futuristic autonomous vehicles travelling at different speeds and providing a plurality of services to users, and Gwangmyeong in South Korea, with its ‘smart trams’, autonomous vehicles with traditional appearance designed as small autonomous moving rooms in which to perform collective and itinerant functions, capable of defining a new mobility model based on the concept of ‘flexible space, integration between ‘physical space’ and ‘digital space’ (Bruno et alii, 2024).

Another critical issue for urban development is related to the UN Food and Agriculture Organisation’s (FAO) predictions of an increase in food demand of about 60% by 2050 and the recognition in 2019 of the importance of Urban Agriculture within the framework for the Urban Food Agenda for its multifunctional capacity to provide fresh food and meet basic nutritional needs through the cultivation of fruit and vegetables, with numerous direct and induced benefits on health and food security (Marino et alii, 2020). By 2050, two-thirds of the world’s population will live in cities (United Nations, 2022). The visible impact of climate change and recent global conflicts on agricultural systems will lead to a decline in agricultural productivity (BCFN and MUFPP, 2018), it seems necessary to structure production chains that allow cities a minimum level of food self-sufficiency through agricultural methods and modes of production within the urban perimeter. Bottom-up urban regeneration experiences initiated by active inhabitants, with the creation of community gardens (Orchard Park) for food production, are initiatives capable of generating different benefits, from resilient and sustainable food production to the reduction of supply

distances, from the reduction of waste to the increase of social cohesion, promoting awareness and enhancing a new cultural identity in the context of the sustainable, social and environmental challenges of the new millennium (Follesa et alii, 2024).

It is noteworthy that agricultural production techniques weigh heavily on the energy question to such an extent that today, the scientific community is rekindling interest in 'appropriate technologies', the definition of which has deep roots in the post-colonial context of the 1960s: the need to provide support to countries then defined as Third World countries prompted Ernst Friedrich Schumacher (1974) to introduce the definition by emphasising the importance of developing techniques suited to the resources and needs of each local context that were also efficient, replicable and respectful of different cultures and environments. The goal of adopting technology that is more efficient than Indigenous practices but cheaper than industrial technology to promote local investment and decentralisation now extends to the development of sustainable and equitable approaches of reconnecting with natural cycles and low energy consumption, such as indoor horticulture, hydroponics, vertical agriculture, permaculture, low-tech and solarpunk, as a starting point for an 'energy-driven' design paradigm (Vacanti and Carmelo, 2024).

Within the scientific debate concerning the energy transition, the Heritage with historical-cultural value emerges as a fundamental pillar of 'innovability', suggesting a vital lesson deduced from the architectural and technical-constructive culture in the Mediterranean area, whose traditional passive building types and technologies are particularly effective in the energy efficiency of buildings. However, the historical and cultural value of an asset does not remove it from the new challenges of contemporaneity by rejecting a priori the implementation of new technologies aimed at reducing its environmental impact and maximising its energy performance: the examples of Gloucester and York Cathedrals and the Paul VI Audience Hall in the Vatican City show how symbiosis between past and present is possible and the installation of photovoltaic panels is not only desirable but necessary to project Heritage towards a more sustainable future (Casanovas, Campanero and Campisi, 2024).

The binomial Cultural Heritage and energy efficiency is central in the international debate, and to guide interventions on Heritage, the former Ministry for Cultural Heritage and Activities and Tourism (MiBACT) promoted the Guidelines for the Improvement of Energy Efficiency in Cultural Heritage (Battisti et alii, 2015): starting from Legge 9 gennaio 1991 n. 10, Decreto Legislativo 19 agosto 2005 n. 192 and Directive 2010/31/EU (The European Parliament and the Council of the European Union, 2010), the text addresses the issue of energy diagnosis as a preliminary cognitive phase to the choice of the most effective solutions to 'avoid negative effects on the conservation of the distinctive features' of the Heritage. To pursue ecological and energy transitions of building processes, we can also use other tools such as Minimum Environmental Criteria (Ministero della Transizione Ecologica, 2022), materials with 'CAM compliance', product labelling and digital product passports to enhance minimum recycled content, biodegradability, eco-compatibility, low volatile organic compound content and traceability of materials (Curto, Garzulino and Turrina, 2024).

Disused industrial sites constitute a particular type of heritage that can take on the value of a strategic resource for achieving the objectives of energy transition and circular economy. In particular, their adaptive reuse can create the condition both to preserve the memory of the original activities and to activate new cycles through regeneration actions with new functionalities, enhancing the testimonies to put them at the service of the local community, but also through a circular ecosystem aimed at managing material, energy and ecological flows through the production of zero-emission energy from waste or refuse, the reuse of components and materials from deconstruction and 'reversible building design' (Baiani et alii, 2024). The regeneration of these brownfield sites within medium-sized urban agglomerations can also be reinterpreted by local communities as a potential energy network, developing zero land consumption logic and retro-innovation processes; this opportunity finds support in the European Hydrogen Strategy (European Commission, 2021c) and the REPowerUE Plan (European Commission, 2022a) as by 2050 renewable hydrogen will be applied at different scales, from local clusters to Hydrogen Valleys territorial hubs understood as communities of local hydrogen production from decentralised renewable energy sources, storage, short-distance transport and use for diversified purposes (Battisti and Calvano, 2024).

Of these particular assets, one can consider not only the architectural heritage but also the relationships between the architecture and its landscape, between the built environment and territorial systems, enhancing the ecological characteristics of sites that, for the city, constitute a significant reservoir of biodiversity; in these cases, the action of 'reconversion' goes beyond that of 'substitution' of functions and becomes 'stitching up' of relationships in the perspective of the overall redesign of the city. Numerous interventions stimulate reflection on this theme – the industrial area of Gruze, the ex-Gasometer in the City of Münster, the Malaga Campus, the Ecoboulevard in Vallecas, the Lyon Confluence and the Île Seguin in Paris, to name but a few – which, although heterogeneous in terms of themes modes and languages, have in common the merit of contextually addressing the theme of reuse, soil renaturalisation and greenery as a paradigm of a project that places the landscape and territorial system at the centre of the discussion (Pirina, Comi and d'Abramo, 2024).

The horizons of decarbonisation in 2030 and climate neutrality in 2050 also pose themes and issues to the entire 20th-century building heritage and the modern city that involve it in an energy requalification both by updating its statutes and reformulating the compositional principles on overhangs, porticoes, courtyards, loggias, and screens, flexibility of use, variability of functions and three-dimensionality of roofs and façades, to govern through the natural elements of water, light and vegetation the complexity of the contemporary condition (Marsala and Renda, 2024), as well as by building on the experience gained with the School's building typology. In particular, we refer to the 'circular' strategies used for the demolition and reconstruction of the 'Cino da Pistoia' School in the Municipality of Pistoia (IT) that guarantee

zero energy consumption (through appropriate envelope and system choices) and optimise the global impacts (embedded and operational) of its entire life cycle (Palumbo, Romano and Gallo, 2024) and to the CIS Rome Green Schools project (Clemente et alii, 2024) in which 111 school buildings distributed in the 15 Municipalities of the Municipality of Rome underwent technological interventions aimed at improving the overall energy performance of the building / plant system (by an average of four energy classes), reducing CO₂ emissions (by an average of about 56%) reducing the total primary energy demand in general (by an average of about 46%) and increasing the share of renewable energy production (by an average of about 20%); These results are particularly relevant when considering the impact that design solutions have not so much on the individual building, but on the buildings as a whole with respect to large-scale planning of interventions. Another pilot project developed on an institute of higher education in the municipality of Giugliano in Campania (IT) used the school as the hub and fulcrum of a perimeter community according to the logic of spokes of influence, catchment areas and manageable common resources; the results obtained from the project show how it is possible to field with a systemic approach appropriate environmental solutions for the integrated and shared management of energy, the enhancement of vegetation and draining surfaces and the recycling of rainwater (Valente et alii, 2024), with benefits for the entire community.

Technological innovation and active citizen participation are two critical factors through which the ambitious decarbonisation goals are achievable; in this sense, Renewable Energy Communities (RECs) define valuable models to promote the transition to a competitive energy system marked by the decarbonisation, democratisation and decentralisation of the sector. Two virtuous examples are Hanover and Amsterdam, forerunners of experimental models of energy districts, since widespread awareness, political expediency and economic necessity now seem to converge and respond to the social and planning challenges of the contemporary world. The comparison of the two examples with more traditional ones reveals a model innovation that goes in the direction of the 'collaborative energy district' and the 'peer to peer' infrastructure, mutating the concept of energy community from 'indirect energy exchanger' into decentralised forms where all the energy consumed is produced locally by micro-communities that are increasingly aware and organised into self-sufficient districts (Crippa et alii, 2024).

Particularly innovative forms of community are those that, inspired by the New European Bauhaus programme, foster the interconnection of people, flora, fauna and the geophysical world, i.e. ecosystems, histories, technologies, institutions and cultures (Chakrabarty, 2009), combining climate action policies and ecosystem-friendly 'practices and behaviours'. One example is the Lighthouse of Nepi project in which, through the synergy of science, innovation, arts and culture, a transformation of the territory and public space takes place that acquires an 'enabling power' towards 'energy awareness', promoting sharing practices that aim at the constitution of (also) energy communities in which the focus is not so much on performance as on the behaviour that the community itself promotes (Montuori, Converso and Rabazo Martín, 2024).

If the cases cited constitute replicable good practices that can accelerate the achievement of carbon and climate neutrality objectives, there are 'structural' barriers that can hinder their diffusion; first of all, the lack of citizen participation strongly desired and promoted by the European Commission, and the poor representativeness of the various social groups, especially the most fragile ones. A solution seems to be offered by the concept of energy citizenship (Montalvo et alii, 2021), which, while embracing the complex energy-technological and social systems, can provide itself with a tool and an analytical model to enable governance, monitor its impact, manage the complex social dynamics at play, provide adequate information to guide decisions and make energy data more 'readable': the Energy Citizenship Contract, developed by the H2020 – GRETA project, appears useful for the purpose especially for its adaptability in different contexts (Boeri et alii, 2024). The potential of Renewable Energy Communities (RECs) can also be harnessed in the production sector, especially drivers for those inland areas characterised by depopulation, isolation and economic weakness, through a circular and regenerative valorisation of resources, promoting short supply chains, investing in renewable energy and the green economy, valorising heritage to develop sustainable tourism models, facilitating digitalisation and strengthening public-private collaboration. The valorisation of high-added-value rural activities, however, requires the refinement and integration of highly complex actions, networking innovative knowledge and skills from the entrepreneurial, technological and social points of view. In this regard, promising experimentation seems to be the one underway in Taranta Peligna (Chieti, IT), which aims to valorise the wool supply chain through a systemic, co-designing and collaborative approach between local authorities, institutions and communities: innovative and sustainable solutions on a par with traditional processes contribute to structuring a network to regenerate a local economy with a reduced impact, giving rise to an energy community, sustainable washing centres and a network observatory (Gaddi and Mastrodonardo, 2024).

The relationship between infrastructure and landscape represents one of the critical unresolved issues, especially in some cultural contexts such as Italy's: energy production infrastructures are considered, due to their size and extension in the natural environment, as an element that deeply disfigures the territory. It is, therefore, necessary to start reflecting on the issue, recalling Thrän, Gawel and Fiedler (2020), according to whom 'energy landscapes' summarise traditional landscape models, the potential of renewable resources, conversion units and related infrastructures, but also the communities that 'inhabit' and 'live' them in various capacities and the socio-economic processes related to them; at the same time, energy landscapes can guarantee multiple functions such as the production of food and materials, nature protection and biodiversity. From such a perspective, these particular landscapes share a system of energy production nodes and energy transmission and distribution networks that can integrate with existing contexts, as they are historically determined, and constitute another infrastructural 'corpus' to be taken into account in the project concerning the 'perceptive' dimension – today a

privileged issue in landscape protection regulations – but also in the ‘soil design’ and the correlation between soil, architecture and landscape, as demonstrated by the projects of the Auleda and Roseto Valfortore wind farms or the agri-voltaic parks in the Catalan region of Penedès and Castellfollit del Boix (Peghin, 2024).

Decarbonisation and climate neutrality are two complex challenges that can only come about by considering the sustainability of processes, projects, solutions and actions to generate benefits for the entire ecosystem. Digital tools are emerging as a critical factor in addressing the complexity of these challenges and an element of value in the new global ecosystem, so much so that the World Economic Forum (WEF, 2022b) has estimated that their use could potentially enable a 15% reduction in global carbon emissions. Their use can be transversal at all scales, even in urban scales, where the elements contributing to greenhouse gas emissions vary. In this context, the potential of the Urban Digital Twin (UDT) emerges, which seems to provide a holistic and interconnected picture of every aspect of city life and, consequently, of the management of urban areas through models, scenarios and simulations helpful in predicting and activating data-driven measures and policies. However, at the core of this transformation is the convergence of advanced and ‘mature’ technologies, such as Artificial Intelligence, the Internet of Things, Augmented Reality and BIM models, and issues related to data collection and integration, overcoming privacy issues and enabling multi-stakeholder governance remain to be solved. While in Europe the principal examples of GDUs are to be found in Helsinki, Zurich, Amsterdam and Dublin, in Italy the City of Bologna is experimenting, through the H2020 projects GRETA and +CityxChange, its Digital Twin to define a methodological framework for energy modelling, enabled by a simplified but incremental GDU prototype, which allows for the generation of analyses and simulations calibrated on broader decarbonisation objectives (Longo et alii, 2024).

Digitisation and innovative technologies can improve the efficiency and flexibility of industrial production, promoting the concept of the ‘smart factory’ based on a new factory-man ecosystem capable of returning information of various kinds, from building and process management to worker comfort, optimising the resources used to reduce waste production and climate-changing emissions. In this sense, of interest are those researchers that aim to develop an interoperability procedure to transfer data from a proprietary modelling platform (BIM authoring) to specific analysis platforms (Building Energy Models – BEMs) through GD, big data, extended reality and Artificial Intelligence algorithms, with the integration of intelligent sensors, platforms based on Digital Energy Twins and user-friendly graphic interfaces that improve interoperability, it is possible to generate a semi-automatic activity typical of Industry 5.0 capable of prefiguring different predictive and programmed scenarios of a specific activity (Osello et alii, 2024). Information and communication technologies have revolutionised the economy, industry and societies of our time, finding applications in urban spaces, where innovation and sustainability combine to create a new way of experiencing cities. It is precisely in this sphere, whose dynamic and constantly evolving nature must be recognised, that the solution to the cogent challenge of climate change may lie, as it represents a complex interface between man and his environment. This complexity becomes solvable with the synergy of an integrated, multi-scalar approach that examines macro- and micro-scale relationships, from the urban level down to building detail and utilises assessment models and indicators (Azzalin, 2024). The latter can support decision-making in the simulation of urban microclimates based on the physical modelling of climatic phenomena to improve individual comfort, achieve the objectives of environmental performance, climate mitigation, energy consumption containment, safety and efficiency of technological infrastructures, open spaces and buildings, and assess the degree of circularity and ecological benefits achievable, for example, through the reuse of objects or building components in-built redevelopment projects (Coccia, Cipolletti and Corvaro, 2024; Zarcone, Nava and Tucci, 2024; Tzortzi, Lux and Pardo Delgado, 2024; Paganin et alii, 2024).

The theoretical and experimental framework here presents a synthesis of the issues addressed in Volume 15 of AGATHÓN, demonstrating how energy, ecological and digital transitions can contribute synergistically to achieving the goals of decarbonisation and climate neutrality. The contributions published in the form of essays and research papers appear consistent with the 2022 Strategic Foresight Report (European Commission, 2022b) based on the JRC report entitled *Towards a Green and Digital Future – Key Requirements for Successful Twin Transitions in the European Union* (Muench et alii, 2022) and founded on the fundamental concepts of (a) ‘twin’ transitions, as the key to a sustainable, fair and competitive future; (b) ‘just’ transition, for widespread acceptance of green and digital solutions to mitigate consumption and improve efficiency; (c) ‘integrated approach’ to challenges, to maximise the benefits of synergies and better manage risks. From the published contributions, it emerges the need for a paradigm shift that, on the one hand, is characterised by a ‘sufficiency’ approach (regarding new land occupation and new constructions) and a circular economy (to limit the use of non-renewable resources) capable of exploiting the potential of technologies for the new services made possible by digitisation, and on the other hand, relies on new user awareness of the limits of the Planet, pursuable through ‘soft’ urgent actions that are robust, flexible and easy to implement as they require a lower financial commitment.

We assume that community energy renewable energy production from hydrogen and production chains can help mitigate greenhouse gas emissions. In that case, the vast existing real estate heritage is an area in which it is possible to intervene effectively, even where it has a historical and cultural value, using tools such as digital twins or analysis methodologies capable of assessing ex-ante the impacts on the ecosystem and prefigure scenarios for cities, buildings and production processes aimed at sustainable development and compatible with the urgent objectives set for 2030 and 2050. These are some of the strategies, pathways, measures and actions that can take place by exploiting the availability of

the substantial financial resources allocated by governments for transitions, stimulating the sensitivity of local administrators and enhancing the skills and transversal competencies of technicians and operators in the sector, but also and above all by raising users' awareness of the risks posed by climate change, to activate their 'behavioural' response to the consumption of energy and non-renewable natural resources.

References

- Accenture (2021), *The European Double Up – A twin strategy that will strengthen competitiveness*. [Online] Available at: accenture.com/_acnmedia/PDF-144/Accenture-The-European-Double-Up.pdf [Accessed 30 June 2024].
- Azzalin, M. (2024), “Indicatore Smart Readiness per l'edilizia – Asset digitali per la transizione energetica | Smart Readiness for buildings – Digital asset for energy transition”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 148-159. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/15112024 [Accessed 30 June 2024].
- Baiani, S., Altamura, P., Turchetti, G. and Romano, G. (2024), “Transizione energetica e circolare del patrimonio industriale – Il caso dell'ex SNIA a Roma | Energy and circular transition of the industrial heritage – The Ex SNIA case in Rome”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 190-203. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/15152024 [Accessed 30 June 2024].
- Battisti, A., Bellisario, M. G., Carbonara, G., D'Amico, S., De Santoli, L., Mercalli, M., Rubino, C., Scoppola, F., Banchini, R., Soragni, U. and Bladescu, I. (2015), *Linee di indirizzo per il miglioramento dell'efficienza energetica nel Patrimonio culturale – Architettura, centri e nuclei storici ed urbani*. [Online] Available at: soprintendenzapdve.beniculturali.it/la-soprintendenza-informa/atti-di-indirizzo/linee-guida-di-indirizzo-per-il-miglioramento-dellefficienza-energetica-nel-patrimonio-culturale/ [Accessed 30 June 2024].
- Battisti, A. and Calvano, A. (2024), “Hydrogen Valleys – Scenari di transizione energetica e sviluppo locale per città medie | Hydrogen Valleys – Energy transition and local development scenarios for medium-sized cities”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 48-57. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1532024 [Accessed 30 June 2024].
- BCFN and MUFPP (2018), *Food and Cities – The role of cities for achieving the sustainable development goals*. [Online] Available at: foodpolicymilano.org/wp-content/uploads/2019/10/food_cities.pdf [Accessed 30 June 2024].
- Boeri, A., Longo, D., Boulanger, S. O. M. and Massari, M. (2024), “Contratto di Cittadinanza Energetica e transizione delle città europee | Energy Citizenship Contract and European cities transition”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 170-179. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/15132024 [Accessed 30 June 2024].
- Bruno, D., Palmieri, S., Palomba, R., D'Alessandro, F. and Bisson M. (2024), “Infrastrutture di mobilità intelligenti e sostenibili – Un nuovo sistema di connessioni urbane | Smart and sustainable mobility infrastructure – A new system of urban connections”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 286-295. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/15232024 [Accessed 30 June 2024].
- Caffo, L. (2021), “Dalla carne al digitale, la svolta ecologica è impossibile senza capire quanto consumiamo”, interview by Orlando, V. E., in *La Repubblica*, 27/12/2021. [Online] Available at: repubblica.it/green-and-blue/2021/12/27/news/la-scienza_produce_solo_dati_ma_per_interpretarli_servono_i_filosofi_-331086511/ [Accessed 30 June 2024].
- Casanovas, X., Alonso Campanero, J. A. and Campisi, T. (2024), “Patrimonio culturale e transizione energetica – Una lezione dal passato | Cultural heritage and energy transition – A lesson from the past”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 58-69. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1542024 [Accessed 30 June 2024].
- Chakrabarty, D. (2009), “The climate of history – Four theses”, in *Critical Inquiry*, vol. 35, issue 2, pp. 197-222. [Online] Available at: doi.org/10.1086/596640 [Accessed 30 June 2024].
- Clemente, C., Mancini, F., Mangiatordi, A. and Zagaria, M. (2024), “Riqualificazione e decarbonizzazione di edifici scolastici – Il CIS Roma Scuole Verdi | Deep renovation and decarbonisation of school buildings – The CIS Roma Scuole Verdi”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 204-215. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/15162024 [Accessed 30 June 2024].
- Coccia, L., Cipolletti, S. and Corvaro, G. (2024), “Green Room – Un dispositivo architettonico e urbano per l'efficiamento energetico e il comfort ambientale | Green Room – An architectural and urban device for energy efficiency and environmental comfort”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 238-251. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/15192024 [Accessed 30 June 2024].
- Crippa, D., Di Prete, B., Fagnoni, R. and Leonardi, C. (2024), “Distretti energetici collaborativi – Laboratori urbani per un'energia di prossimità | Collaborative energy districts – Urban workshops for proximity energy”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 296-305. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/15242024 [Accessed 30 June 2024].
- De Certeau, M. (2011), *The Practice of Everyday Life*, University of California Press, Berkeley.
- Decreto Legislativo 19 agosto 2005 n. 192, “Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia”, in *Gazzetta Ufficiale*, Serie Generale n. 222 del 23/09/2005, Suppl. Ordinario n. 158. [Online] Available at: gazzettaufficiale.it/eli/id/2005/09/23/005G0219/sg [Accessed 30 June 2024].
- Del Curto, D., Garzulino, A. and Turrina, A. (2024), “Sostenibilità e transizione energetica – Prospettive per un approccio integrato al patrimonio costruito | Sustainability and energy transition – Perspectives for an integrated approach to the built heritage”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 98-113. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1582024 [Accessed 30 June 2024].
- European Commission (2022a), *Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – REPowerEU Plan*, document 52022DC0230, 230 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2022%3A230%3AFIN [Accessed 30 June 2024].
- European Commission (2022b), *Communication from the Commission to the European Parliament and the Council – 2022 Strategic Foresight Report Twinning the green and digital transitions in the new geopolitical context*, document 52022DC0289, COM/2022/289 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM:2022:289:FIN [Accessed 30 June 2024].
- European Commission (2021a), *New European Bauhaus – Shaping more beautiful, sustainable and inclusive forms of living together*. [Online] Available at: europa.eu/new-european-bauhaus/index_en [Accessed 30 June 2024].
- European Commission (2021b), *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – Forging a Climate-Resilient Europe – The new*

EU Strategy on Adaptation to Climate Change, document 52021DC0082, 82 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/en/ALL/?uri=CELEX:52021DC0082 [Accessed 30 June 2024].

European Commission (2021c), *Communication from the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – A Hydrogen Strategy for a Climate-neutral Europe*. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52020DC0301 [Accessed 30 June 2024].

European Commission (2019a), *Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – The European Green Deal*, document 52019DC0640, 640 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN [Accessed 30 June 2024].

European Commission (2019b), *Report from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – Review of progress on implementation of the EU Green Infrastructure Strategy*, document 52019DC0236, 236 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM:2019:236:FIN [Accessed 30 June 2024].

European Parliament (2020), *Next Generation EU – A European instrument to counter the impact of the coronavirus pandemic*. [Online] Available at: [europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EPRS_BRI\(2020\)652000](http://europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EPRS_BRI(2020)652000) [Accessed 30 June 2024].

Floridi, L. (2020), *Il verde e il blu – Idee ingenue per migliorare la politica*, Raffaello Cortina Editore, Milano.

Follesa, S., Corti, M., Struzziero, D. and Piluso, A. (2024), “Design del sistema alimentare per comunità resilienti – Agricoltura urbana e spazi sostenibili | Food system design for resilient communities – Urban agriculture and sustainable spaces”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 306-315. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/15252024 [Accessed 30 June 2024].

Gaddi, R. and Mastrolonardo, L. (2024), “Micro-reti locali per la transizione verde della filiera della lana | Local micro-networks for green transition of the wool supply chain”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 344-353. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/15292024 [Accessed 30 June 2024].

Gausa, M. (2019), “Resili(g)ence – Città Intelligenti / Paesaggi Resilienti | Resili(g)ence – Smart Cities / Resilient Landscape”, in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 6, pp. 14-25. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/622019 [Accessed 30 June 2024].

Ghosh, A. (2017), *La grande cecità – Il cambiamento climatico e l'impensabile*, Neri Pozza, Vicenza.

Höpfel, L., Pilla, D., Köhl, F., Burkhard, C., Lienhard, J. and Ludwig, F. (2022), “Tree- façades – Integrating trees in the building envelope as a new form of Façade Greening”, in Scalisi, F., Sposito, C. and De Giovanni, G. (eds), *On sustainable built environment between connections and greenery*, Palermo University Press, Palermo, pp. 192-213. [Online] Available at: doi.org/10.19229/978-88-5509-446-7/7112022 [Accessed 30 June 2024].

IEA – International Energy Agency (2021), *2020 Global Status Report for Buildings and Construction – Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector*. [Online] Available at: wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/34572/GSR_ES.pdf?sequence=3&isAllowed=y [Accessed 30 June 2024].

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2023), *Climate Change 2023 – Synthesis Report – Summary for Policymaker*. [Online] Available at: ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_SPM.pdf [Accessed 30 June 2024].

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2022a), *Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability – Summary for Policymakers*, Switzerland. [Online] Available at: ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_FinalDraft_FullReport.pdf [Accessed 30 June 2024].

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2022b), *Climate Change 2022 – Mitigation of climate change*, Working Group III 6th Assessment Report. [Online] Available at: ipcc.ch/report/ar6/wg3/ [Accessed 30 June 2024].

ISPRA (2023), *Verso città resilienti – Gli interventi del Programma sperimentale per l'adattamento ai cambiamenti climatici in ambito urbano*, Quaderni Ambiente e Società, n. 23. [Online] Available at: isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/quaderni/ambiente-e-societa/verso-citta-resilienti-gli-interventi-del-programma-sperimentale-per-l-adattamento-ai-cambiamenti-climatici-in-ambito-urbano [Accessed 30 June 2024].

Legge 9 gennaio 1991 n. 10, “Norme per l'attuazione del Piano Energetico Nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia”, in *Gazzetta Ufficiale*, Serie Generale n. 13 del 16/01/1991, Suppl. Ordinario n. 6. [Online] Available at: gazzettaufficiale.it/eli/id/1991/01/16/091G0015/sg [Accessed 30 June 2024].

Lefebvre, H. (2016), *The production of space* [or. ed. *La production de l'espace*, 1974], Blackwell, Malden (MA).

Longo, D., Turillazzi, B., Roversi, R., Lilla, L., Nucci, C. A., Piccinini, A. and Costa, A. (2024), “Gemello digitale urbano e modellazione energetica – Esperienze e analisi di casi d'uso | Urban Digital Twin and Energy Modeling – Experiences and case study analyses”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 160-169. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/15122024 [Accessed 30 June 2024].

Marsala, G. and Renda, G. (2024), “Postprodurre il moderno – Lineamenti per una transizione energetica intesa come transizione architettonica | Post-producing the modern – Guidelines for an energy development as an architectural transition”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 98-113. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1572024 [Accessed 30 June 2024].

Mantziaras, P. (2024), “La previsione strategica urbana nel contesto europeo – Le lezioni di Ginevra e Lussemburgo | Urban strategic foresight in European territories – Lessons from Geneva and Luxembourg”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 30-47. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1522024 [Accessed 30 June 2024].

Marino, D., Antonelli, M., Fattibene, D., Mazzocchi, G. and Tarra, S. (2020), *Cibo, città, sostenibilità – Un tema strategico per l'Agenda 2030*, ASVIS, Roma. [Online] Available at: iris.uniroma1.it/handle/11573/1477879?mode=complete [Accessed 30 June 2024].

MASE – Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (2023), *Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici*. [Online] Available at: mase.gov.it/pagina/piano-nazionale-di-adattamento-ai-cambiamenti-climatici-pnacc [Accessed 30 June 2024].

Ministero della Transizione Ecologica (2022), “Decreto 23 giugno 2022 – Criteri ambientali minimi per l'affidamento del servizio di progettazione di interventi edilizi, per l'affidamento dei lavori per interventi edilizi e per l'affidamento congiunto di progettazione e lavori per interventi edilizi (22A04307)”, in *Gazzetta Ufficiale*, Serie Generale n. 183 del 06/08/2022. [Online] Available at: gazzettaufficiale.it/eli/id/2022/08/06/22A04307/sg [Accessed 30 June 2024].

Ministero dello Sviluppo Economico (2021), *Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza*. [Online] Available at: governo.it/sites/governo.it/files/PNRR.pdf [Accessed 30 June 2024].

Montalvo, C., Schindwein, L., Ruggieri, B. and Kantel, A. (2021), *Framework for research on energy citizenship emergence structure and dynamics – D1.1 of the Horizon 2020 project GRETA*, EC grant agreement no. 101022317, The Hague, The Netherlands. [Online] Available at: projectgreta.eu/wp-content/uploads/2022/01/GRETA_D1_1_Energy-citizenship-emergence-framework_v1_0.pdf [Accessed 30 June 2024].

Montuori, L., Converso, S. and Rabazo Martin, M. (2024), “Spazi pubblici della transizione energetica – Un progetto a Nepi per il New European Bauhaus | Public spaces of the energy transition – A design in Nepi for the New European Bauhaus”,

- in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 138-147. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/15102024 [Accessed 30 June 2024].
- Muench, S., Stoermer, E., Jensen, K., Asikainen, T., Salvi, M. and Scapolo, F. (2022), *Towards a green and digital future – Key requirements for successful twin transitions in the European Union*, JRC129319, Publications Office of the European Union, Luxembourg. [Online] Available at: data.europa.eu/doi/10.2760/977331 [Accessed 16 March 2024].
- Ness, D. (2024), “La decarbonizzazione degli edifici sarà sufficiente? Limitare e ridistribuire l’aumento di superficie costruita | Will decarbonising buildings be enough? Constrain and redistribute growth in floor area”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 84-97. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1562024 [Accessed 30 June 2024].
- Olivastri, C. and Tagliascio, G. (2024), “Servizi per il riuso e il riparo – L’allestimento tra touchpoints e infrastrutture relazionali | Services for reuse and repair – The arrangement between touchpoints and relational infrastructures”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 324-331. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/15272024 [Accessed 30 June 2024].
- Osello, A., Del Giudice, M., Donato, A. J. and Fratto, A. (2024), “Verso la Neutralità Climatica – Il ruolo chiave del Digital Twin nell’Industria 5.0 | Towards Climate Neutrality – The key role of the Digital Twin in Industry 5.0”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 276-285. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/15222024 [Accessed 30 June 2024].
- Paganin, G., Talamo, C., Atta, N. and Tinelli, E. (2024), “Riuso di componenti edilizi – Sistema di valutazione a supporto delle decisioni negli interventi di redistribuzione interna | Reuse of building components – Assessment system to support decisions in indoor re-layout interventions”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 266-275. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/15212024 [Accessed 30 June 2024].
- Palumbo, E., Romano, R. and Gallo, P. (2024), “Strategie life cycle thinking per la realizzazione di scuole nZEB | Life cycle thinking strategies for constructing nZEB schools”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 252-265. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/15202024 [Accessed 30 June 2024].
- Peghin, G. (2024), “Verso una transizione culturale dei paesaggi energetici – Tra responsabilità e necessità | Towards a cultural transition of energy landscapes – Between responsibility and necessity”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 18-29. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1512024 [Accessed 30 June 2024].
- Pirina, C., Comi, G. and d’Abramo, V. (2024), “Per una transizione progettuale – Composizione e progetto del verde per la città contemporanea | For a design transition – Green composition and design for the contemporary city”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 124-137. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1592024 [Accessed 30 June 2024].
- Ritchie, H. and Roser, M. (2020), “CO₂ emissions – How much CO₂ does the world emit? Which countries emit the most?”, in *OurWorldInData.org*, revised in January 2024. [Online] Available at: ourworldindata.org/co2-emissions [Accessed 16 March 2024].
- Rockström, J., Gupta, J., Qin, D., Lade, S., Abrams, J., Andersen, L. et alii (2023), “Safe and just Earth system boundaries”, in *Nature*, vol. 619, article 7968, pp. 102-111. [Online] Available at: doi.org/10.1038/s41586-023-06083-8 [Accessed 30 June 2024].
- Schumacher, E. F. (1974), *Small is beautiful – Economics as if people mattered*, Sphere, London.
- The European Parliament and the Council of the European Union (2010), *Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast)*, document 32010L0031. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32002L0091 [Accessed 30 June 2024].
- Thrän, D., Gawel, E. and Fiedler, D. (2020), “Energy landscapes of today and tomorrow”, in *Energy, Sustainability and Society*, vol. 10, article 43, pp. 1-3. [Online] Available at: doi.org/10.1186/s13705-020-00273-2 [Accessed 30 June 2024].
- Tzortzi, J. N., Lux, M. S. and Pardo Delgado, N. (2024), “Infrastrutture verdi urbane in America Latina – Una strategia per i cortili di Bogotá | Urban Green Infrastructure in Latin America – A strategy for Bogota courtyards”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 216-227. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/15172024 [Accessed 30 June 2024].
- Vacanti, A. and Carmelo, L. (2024), “Tecnologia, energia e tempo – Percorsi sperimentali per il design di tecnologie appropriate | Technology, energy, and time – Experimental paths for the design of appropriate technology”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 316-323. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/15262024 [Accessed 30 June 2024].
- UN – United Nations (1987), *Report of the World Commission on Environment and Development – Our Common Future*. [Online] Available at: sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf [Accessed 30 June 2024].
- United Nations – Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2022), *World Population Prospects 2022 – Summary of Results*, UN DESA/POP/2022/TR/NO.3. [Online] Available at: un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org/development/desa/pd/files/wpp2022_summary_of_results.pdf [Accessed 30 June 2024].
- Valente, R., Mazingo, L. A., Bosco, R. and Giacobbe, S. (2024), “Gestione integrata delle risorse naturali in contesti urbani sostenibili | Integrated natural resource management in sustainable urban context”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 180-189. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/15142024 [Accessed 30 June 2024].
- Valenti, A., Scalisi, F., Sposito, C., Dellamotta, L. and Masserdotti, A. (2024), “Energia, tecnologia emotiva e valore culturale dei dati – Creare consapevolezza nell’utente con lo storytelling | Energy, emotional technology and cultural value of data – Creating user awareness through storytelling”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 70-83. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1552024 [Accessed 30 June 2024].
- WEF – World Economic Forum (2022a), *The Global Risks Report – 17th Edition – Insight Report*. [Online] Available at: weforum.org/reports/global-risks-report-2022/in-full [Accessed 30 June 2024].
- WEF – World Economic Forum (2022b), “A digital silver bullet for the world – Digitalization”, in *weforum.org*, 19/05/2022. [Online] Available at: weforum.org/agenda/2022/05/a-digital-silver-bullet-for-the-world/ [Accessed 30 June 2024].
- WEF – World Economic Forum (2021), “This is how climate change could impact the global economy”, in *weforum.org*, 28/06/2021. [Online] Available at: weforum.org/agenda/2021/06/impact-climate-change-global-gdp/ [Accessed 30 June 2024].
- Zannoni, M., Succini, L., Rosato, L. and Pasini, V. (2024), “Transitional industrial designer – La responsabilità di progettisti e imprese per una transizione sostenibile | Transitional industrial designer – The responsibility of designers and companies for a sustainable transition”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 332-343. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/15282024 [Accessed 30 June 2024].
- Zarcone, R., Nava, F. and Tucci, F. (2024), “Mitigazione del clima e comfort umano – Uno strumento per la modellazione e simulazione di supporto alle decisioni | Climate mitigation and human comfort – A decision-support modeling and simulation tool”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 228-237. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/15182024 [Accessed 30 June 2024].

ARTICLE INFO

Received 11 April 2024
 Revised 19 April 2024
 Accepted 08 May 2024
 Published 30 June 2024

VERSO UNA TRANSIZIONE CULTURALE DEI PAESAGGI ENERGETICI

Tra responsabilità e necessità

TOWARDS A CULTURAL TRANSITION OF ENERGY LANDSCAPES

Between responsibility and necessity

Giorgio Peghin

ABSTRACT

Ogni transizione introduce un momento di novità, ma nel campo ambientale e del paesaggio gli effetti di questo cambiamento possono essere critici, per una serie di motivi. Il primo riguarda gli impatti delle infrastrutture industriali, della mobilità e della gestione dei processi ambientali ed è relativo alla scarsa coesione tra le opere e il paesaggio. Una seconda questione è relativa ai processi decisionali e al principio di responsabilità degli stessi soprattutto in materia di ambiente. Infine il terzo punto coinvolge la dimensione temporale e, più in generale, il progetto del tempo come sistema di relazioni. Il contributo cerca di offrire, in questo senso, una riflessione sul ruolo del progetto di architettura nei contesti complessi, fornendo alcune indicazioni operative e affermando la necessità di 'leggere' il mondo attuale e interpretarlo criticamente, evitando l'esclusivo dominio tecnocratico in temi che interessano il futuro delle prossime generazioni e i destini del nostro paesaggio.

Every transition introduces a moment of novelty; however, in the environmental and landscape field, the effects of this change can be critical for various reasons. The first reason relates to the impacts of industrial infrastructures, mobility and the management of environmental processes, and is related to the lack of cohesion between the structures and the landscape. A second issue relates to decision-making processes and the principle of accountability of the same especially in environmental matters. Finally, the third point involves the temporal dimension and, more generally, the design of time as a system of relationships. This contribution aims, therefore, to reflect on the role of architectural design in complex contexts, providing operational indications and establishing the need to 'read' the present world and interpret it critically, avoiding exclusive technocratic dominion in issues that affect the future of the next generations and the destinies of our landscape.

KEYWORDS

paesaggio, infrastruttura, tempo, resilienza, transdisciplinare

landscape, infrastructure, time, resilience, transdisciplinary



Giorgio Peghin, Architect and PhD, is a Full Professor in Architectural and Urban Composition and Director of the Master in Landscape Architecture at the Department of Civil, Environmental and Architecture Engineering of the University of Cagliari (Italy). In 2018, he was a Member of the National Research Group 'Arcipelago Italia' coordinated by Mario Cucinella, research presented at the Italian Pavilion of the 16th International Architecture Exhibition of the Venice Biennale. He is currently Head of Office for the PRIN 2022 PNRR Research entitled 'Towards an Earthling Architecture – Strategies of Coexistence and Care for Landscapes at Risk in Southern Italy (TEArch)'. Mob. +39 347/42.38.459 | E-mail: giorgiopeghin@unica.it

Transizione è parola del nostro tempo; rappresenta il senso di un 'passaggio', di una modificazione potenziale di paradigmi culturali, ma anche l'opportunità di riconsiderare il ruolo dell'architettura e dell'architetto come costruttore di futuro. In un contesto 'transitivo' analogo, ma storicamente da contestualizzare, il filosofo Enzo Paci (1959, p. 353) aveva affermato che l'avvenire dell'architettura «[...] sembra dipendere non certo esclusivamente, ma in modo rilevante, dal punto di vista dal quale viene interpretata la modernità». In queste parole la modernità era intesa come aspirazione al superamento delle irrazionalità insite nel progresso e oggi, in un momento fortemente connotato da instabilità geopolitiche, ambientali, culturali, tecniche, questo pensiero appare più che mai attuale.

Transizione è un cambiamento di stato, potenziale rivoluzione, possibile rottura critica¹. Non ci si deve sorprendere se ogni transizione introduce un momento di novità, ma questo passaggio può comportare anche rischi e problemi. Nel campo delle infrastrutture, ad esempio, la modificazione si manifesta, spesso, in tutta la sua problematicità, per una serie di motivi. Il primo riguarda quello industriale, della mobilità e della gestione dei processi ambientali ed è relativo alla scarsa coesione tra le opere e il paesaggio: spesso l'intervento tecnico è del tutto separato dal contesto fisico e sociale. Una seconda questione investe i processi decisionali e il principio di responsabilità degli stessi: nelle società moderne, infatti, le più importanti decisioni sulla qualità della nostra vita sono prese da altri, soprattutto in materia di ambiente. Infine il terzo punto coinvolge la dimensione temporale e, più in generale, il progetto del tempo.

Il rapporto tra infrastruttura e paesaggio si connota come una delle questioni critiche e alcuni nodi problematici sembrano ancora irrisolti, almeno nelle attuali condizioni ambientali e climatiche. Vittorio Gregotti, presentando nel 1965 il numero monografico della rivista italiana Edilizia Moderna su La Forma del Territorio, scriveva: «[...] tema di questo numero, di cui in qualche modo questa è l'introduzione, è la possibilità di fondare una tecnologia formale del paesaggio antropogeografico. Anziché avere pretese di tipo teoretico essa si presenta come un'elencazione di problemi aperti dal considerare il nostro lavoro di architetti come lavoro sugli insiemi ambientali a tutte le scale dimensionali: una specie di progetto e di esperimento a partire dal tentativo di strutturare in senso significativo lo spazio fisico che l'uomo abita sulla terra, non solo lavorando e operando in modo estetico nella costruzione del manufatto, ma conferendo senso estetico anche a insiemi la cui presenza al mondo è, per così dire, precedente alla nostra azione diretta» (Gregotti, 1965, p. 1).

Il testo, poi rielaborato ne Il Territorio dell'Architettura (Gregotti, 1966), avviava un dibattito sull'interpretazione territoriale del progetto e sull'idea di un inestricabile intreccio tra architettura e forme della terra che si poteva tradurre in relazioni geografiche e nella loro formalizzazione attraverso l'architettura (Secchi, 1986; Quaini, 1991; Farinelli, 1991). In queste riflessioni Gregotti assumeva il paesaggio come un 'manufatto' costruito nel tempo, una struttura artificiale composta da natura e cultura, 'patria artificiale' e 'deposito di fatiche', come l'aveva definita Carlo Catta-

neo (1971). Oggi questa visione sistemica, di infrastruttura come architettura integrata nel paesaggio, sembra sostituita dalla prevalenza tecnica orientata quasi esclusivamente alla soluzione dei problemi, non più o non solo associati ad una dimensione locale, ma proiettati in un contesto globale che tende a eliminare le differenze e le identità dei territori.

Questa situazione ci porta a riflettere sulla seconda questione, cioè la dimensione decisionale dei processi ambientali che spesso disattendono il criterio di legittimità che identifica il decisore con colui che subisce gli effetti delle decisioni stesse (Chiapponi, 1989). Eppure, quando ci riferiamo a sistemi complessi come quelli ambientali, dovremmo tener conto dell'interazione tra interessi privati e istanze collettive, come ha affermato Thomas Maldonado (1981, p. 3): «[...] il momento di un processo formativo della realtà, che si prefigura come parte, integrata e attiva, di un sistema di rapporti di elevata complessità e la cui descrizione non è possibile ricorrendo alle tecniche della percezione visiva ma solo attraverso l'elaborazione delle stesse con altri materiali provenienti dalla ricerca empirica e da altri campi disciplinari».

Questa considerazione logica, del tutto evidente se ci riferiamo a un sistema di relazioni stabili e di obiettivi certi, entra in crisi nel nostro tempo, dove il sistema delle 'certezze disciplinari', o comunque i paradigmi che hanno sorretto la moderna cultura del progetto, vengono messi in discussione da una continua e imprevedibile modificazione dei modelli e dei contesti di riferimento. Oltretutto, viene meno l'efficacia dei processi decisionali che in altre situazioni appaiono fondati su una 'scienza' che li supporta e ne orienta la scelta e, soprattutto, manca il coinvolgimento di un attore fondamentale, le future generazioni, che non detengono alcuna possibilità di un coinvolgimento diretto, anche se gli esiti di queste decisioni saranno, di fatto, gli argomenti della loro esistenza, nonostante la Convenzione Europea del Paesaggio (Council of Europe, 2020) promuova la consapevolezza che la qualità del paesaggio debba essere accompagnata da una democrazia del paesaggio (Arler, Sperling and Borch, 2023).

Profetica, allora, la considerazione del filosofo José Ortega y Gasset (2018, p. 79), che scrive: «[...] se è vero che ogni generazione consiste in una peculiare sensibilità, in un repertorio di propensioni intime, ciò vuol dire che ogni generazione ha una sua propria vocazione, una sua missione storica. Pende su di essa il severo imperativo di sviluppare quei germogli interiori [...] Ma accade che le generazioni, al pari degli individui, tradiscano a volte la loro vocazione e non compiano la loro missione [...] ed è chiaro che questa diserzione del posto che si occupa nella storia non la si commette impunemente».

La responsabilità delle scelte dovrebbe imporre un'alleanza tra saperi e competenze per progettare la Transizione, con una nuova integrazione tra ambiti disciplinari differenziati, dall'ingegneria ambientale all'architettura del paesaggio, dall'economia alla ricerca socio-antropologica: siamo di fronte al tema della trasversalità disciplinare del progetto (Raiteri, 2014)². Autonomia disciplinare o integrazione con le tecniche, specificità dell'architettura come scienza del costruire o espressione dell'arte? Il problema rimane irrisolto,

diviso tra una visione 'vitruviana' e funzionalista, in cui troviamo insieme i concetti di multidisciplinarietà, senso della sintesi, unione tra teoria e pratica e una nozione che si sofferma sugli aspetti dell'arte, della composizione e della poetica: due modi di concepire l'architettura che rappresentano l'ossimoro di questa disciplina.

La terza questione interessa la 'dimensione' del tempo, determinante nella prefigurazione futura di un luogo; Aristotele si riferiva al tempo come misura del cambiamento, osservando che le cose mutano continuamente, mentre Newton teorizzava un tempo assoluto che scorre indipendente dagli eventi e dai cambiamenti: sono entrambi due modi di decifrare il tempo come una progressione univoca. Solo Einstein introduce una visione sistemica del tempo: «[...] la singola quantità 'tempo' si frantuma in una ragnatela di tempi. Non descriviamo come il mondo evolve nel tempo: descriviamo le cose evolvere in tempi locali e i tempi locali evolvere uno rispetto all'altro. Il mondo non è come un plotone che danza al ritmo di un comandante. È una rete di eventi che si influenzano l'un l'altro» (Rovelli, 2017, p. 25). È il tempo del paesaggio, sistema di relazioni che si ricombinano continuamente perché soggette a variazioni, anche imprevedibili, provocate da fattori non controllabili, come il clima, la qualità dei suoli, le modificazioni ambientali e gli usi.

L'infrastruttura subisce gli effetti del tempo; non possiamo non rilevare il fascino delle infrastrutture abbandonate, dei luoghi dismessi, trasformati dal tempo in rovine, in manufatti che hanno perso la loro originaria funzione ma hanno acquisito un valore estetico che prima, forse, avevano solo in parte, essendo luoghi sorti per esclusivi scopi produttivi (Peghin, 2019).

È questo che l'artista Robert Smithson (1967, p. 48) vedeva nelle 'rovine industriali' di Passaic: «That zero panorama seemed to contain ruins in reverse, that is – all the new construction that would eventually be built. This is the opposite of the 'romantic ruin' because the buildings don't fall into ruin after they are built but rather rise into ruin before they are built. This anti-romantic mise-en-scene suggests the discredited idea of time and many other 'out of date' things. But the suburbs exist without a rational past and without the 'big events' of history. Oh, maybe there are a few statues, a legend, and a couple of curios, but no past – just what passes for a future. [...] Passaic seems full of 'holes' [...] and those holes in a sense are the monumental vacancies that define, without trying, the memory-traces of an abandoned set of futures».

L'emozione nostalgica è un desiderio per il passato, per la memoria, e nel paesaggio questo sentimento prevale anche in contesti culturali e geografici molto diversi (Li and Gou, 2023) rispetto alla consapevolezza della dimensione dinamica insita nelle sue trasformazioni.

Bernardo Secchi (2010, p.12) ha descritto con chiarezza questo processo: «[...] attraverso la Bauce a sud ovest di Parigi e i campi di rotori eolici mi mostrano un paesaggio inusitato. Nuovo come quando dalla Germania vado in Danimarca segnano un nuovo paesaggio i rotori collocati nelle acque del mare del Nord o come quando attraverso le foci dell'Ebro in Spagna o mi avvicino al Monte Arei alle spalle di Oristano o percorro molti altri territori europei inclusi alcuni italiani.



Fig. 1 | Image of the energy landscapes of Portovesme in Sardinia (credit: G. Meloni, 2016).

Qualcosa sta cambiando, in senso lato, il paesaggio europeo ed è forse simile al momento nel quale i treni hanno cominciato o percorrerlo e strutturarli o, più di recente, le linee elettriche e le autostrade. Non mi stupisco che ciò sollevi qualche sentimento di nostalgia che porta a considerare il 'prima' come meglio del 'dopo'. È sempre stato così, per la città ed il territorio».

I Paesaggi Energetici | Questi punti problematici sono posti alla base di una riflessione sui Paesaggi Energetici, espressione che rappresenta l'immagine della presenza delle infrastrutture per la produzione energetica, la loro dimensione spaziale e la 'composizione' come elemento che connota il disegno del territorio in maniera profonda (Fig. 1), ma anche le comunità che lo 'abitano' e i processi socio-economici ad essi correlati. Secondo Thrän, Gawel e Fiedler (2020) i paesaggi energetici non includono solo i modelli paesaggistici tradizionali, ma anche i potenziali delle risorse rinnovabili, le unità di conversione e le relative infrastrutture, e gli esseri umani colpiti dalla transizione in modi molto diversi: come investitori, vicini, decisori locali, consumatori di energia e molti altri. Allo stesso modo i paesaggi devono garantire molteplici funzioni come la fornitura di cibo e materiali, la protezione della natura e il recupero.

Non si può parlare di un solo paesaggio energetico, ma di un paesaggio 'plurale' che si differenzia fortemente sulla base delle tecnologie di produzione: le energie dell'acqua, che comprendono le centrali idroelettriche e le opere che maggiormente hanno modificato il territorio come le dighe, i bacini artificiali, le opere di deviazione dei corsi d'acqua e dei fiumi; le energie del sole, definite dalla presenza di aree dedicate a parchi solari e fotovoltaici; le energie del vento, che si producono in aree in cui si concentrano elementi puntuali e linee che seguono i percorsi del vento; infine, le energie della terra, la geotermia, fonte che si appoggia a un complesso sistema infrastrutturale che determina importanti segni sul pae-

saggio e sulla cultura di chi li abita (Puttilli and Vitale, 2007).

Questi paesaggi condividono, poi, un sistema nodi di produzione e di reti di trasmissione e distribuzione dell'energia che sono fortemente integrati con i contesti esistenti, in quanto storicamente determinati, e che costituiscono un altro 'corpus' infrastrutturale da prendere in considerazione nel progetto di questi paesaggi (De Laurentis, 2023).

Se in passato queste infrastrutture non hanno provocato dissenso nelle comunità che ne hanno provato gli effetti nella trasformazione del loro paesaggio, i nuovi paesaggi dell'energia legati alla Transizione Energetica sembrano produrre, da un lato il rifiuto al cambiamento dei caratteri paesaggistici, dall'altro una difficile gestione politica (Angelucci, 2011).

Vi è, in generale, una dilagante paura di innovazione che rischia di paralizzare questi processi, ma allo stesso tempo siamo di fronte a una grande sperimentazione collettiva paragonabile, forse, all'esperienza moderna dell'abitazione razionale, almeno per l'importanza e la diffusione del tema in un contesto globale: «[...] in questo contesto assume un ruolo decisivo il tema del confronto con il territorio sulle scelte, la programmazione, gli interventi di mitigazione, la valorizzazione di un quadro trasparente e chiaro di ruoli, responsabilità e regole. La partecipazione alla costruzione delle decisioni risulta decisiva proprio per dare forza e costruire consenso intorno a scelte complesse; per capire e anticipare motivi di timore e conflitto, per valorizzare le potenzialità dei luoghi» (Zanchini, 2002, p. 17).

Si viene a formare, così, un ambito progettuale inedito ma fortemente incidente nei processi di produzione economici e di trasformazione territoriale, un sistema articolato che si lega in modo diretto ai processi produttivi e alle reti di servizio per la distribuzione dei beni primari (Biehl, 1991). La progettazione di questi sistemi dovrebbe tener conto, infatti, dell'integrazione di tecnologie differenziate (eolico, solare, geotermico, ecc.) e della

ricerca di modalità progettuali orientate al migliore inserimento di questi impianti nei contesti urbani, periurbani e rurali. Una questione che non agisce solo nel campo della dimensione 'percettiva' – oggi privilegiata nei programmi di tutela e definizione delle regole di modificazione paesaggistica – ma anche nel 'disegno del suolo' (Secchi, 1986), nella correlazione tra suolo, architettura e paesaggio.

Le nuove infrastrutture potrebbero, in questo senso, favorire la costruzione di nuovi paesaggi mantenendo l'identità di quelli esistenti «[...] se solo disponessimo i rotori eolici, ad esempio, secondo una logica: costruendo linee che ci rivelino le strutture dei percorsi che attraversano la pianura; costruendo isole che in qualche modo rispecchino quelle più antiche dell'insediamento rurale e dei boschi che lo proteggono», afferma ancora Bernardo Secchi (2010, p. 12), cercando un disegno capace di integrare le esigenze tecniche al carattere del paesaggio e imponendo una verifica alle diverse scale del progetto, da quella di microambito, relativa alle opere strutturali necessarie per la collocazione degli impianti, a quella scala di macroambito, cioè della percezione complessiva dell'infrastruttura.

Orientamenti progettuali per la transizione energetica

La varietà delle infrastrutture per la produzione energetica comporta differenti meccanismi di valutazione progettuale. Approfonditi studi sulla disposizione delle turbine in schemi lineari o griglie hanno prodotto, ad esempio, misurazioni tecniche che consentono un posizionamento capace di sfruttare le condizioni del vento, massimizzando i risultati produttivi (Harsema, 1998; van Dooren and van Leeuwen, 2003), interpretando i caratteri ambientali e le possibili interazioni con il territorio quasi esclusivamente da un punto di vista del 'disturbo', soprattutto per quanto riguarda l'aspetto percettivo, in quanto l'ubicazione di un numero elevato di turbine eoliche organizzate 'a grappolo' genera un effetto di densificazione difficile da limitare.

Nel campo delle energie del vento si discute prevalentemente sugli impatti visivi che creano nel territorio, mentre minore attenzione viene posta alle opere necessarie per l'inserimento delle turbine eoliche nei territori. D'altronde i caratteri paesaggistici e le ricadute territoriali non sono dati 'misurabili', ma vanno valutati di volta in volta, spesso attraverso il progetto.

Alcuni progetti sono esemplificativi di questa direzione, cioè di una particolare attenzione alla costruzione del sito e delle relazioni con il paesaggio preesistente. Nel 2000 il concorso dal titolo Paesaggi del Vento, promosso da Enel e Legambiente, aveva messo a confronto differenti soluzioni progettuali che introducevano una visione sistemica dell'infrastruttura energetica. Tra queste, il progetto di Daniela Moderini, Giovanni Selano e Laura Zampieri per il sito Monte Caruozzo a Pescopagano, vincitore del primo premio, provava a offrire una opportunità per il territorio: il parco eolico utilizzava le tracce topografiche e gli elementi paesaggistici, facendo emergere una 'strada del vento' che integrava luoghi archeologici, monumentali, storici, naturalistici ed enogastronomici consolidati nel territorio (Moderini and Selano, 2006). Una tale scelta va oltre il fatto tec-

nico per utilizzare la nuova infrastruttura in funzione di una configurazione d'uso collettiva del territorio, immediata ma anche potenziale nel tempo (Figg. 2, 3).

Moderini, Selano e Zampieri hanno sperimentato in altri siti questo approccio sistemico orientato alla lettura dei caratteri paesaggistici e alle prospettive di utilizzo nel 'lungo periodo' delle infrastrutture eoliche, come nel progetto del Parque Eólico de l'Auleda, in cui disegnano un itinerario che definisce la struttura del paesaggio, consentendo il ribaltamento della visione 'tecnica' in un dispositivo per la costruzione di un parco (Fig. 4). Tra il 2004 e il 2014 hanno realizzato, infine, il Parco Eólico di Roseto Valfortore, in Provincia di Foggia, riuscendo a definire nelle 'linee' di crinale un sistema di luoghi che rimettono a sistema gli antichi percorsi delle transumanze (Fig. 5).

Nel 2013 Moderini e Selano hanno affrontato il tema dei paesaggi del vento applicati a una particolare condizione contestuale, quella degli impianti offshore, con uno studio di layout alternativi in relazione al paesaggio del mare, proponendo tre soluzioni planimetriche con l'obiettivo di generare un rapporto con la linea di costa come chiave per ridefinire il paesaggio costiero, controllando l'impatto visivo che si determina in alcuni punti strategici, pur consentendo il mantenimento della produttività energetica. I layout proposti si basano su 'forme' geometriche elementari: l'ellisse, figura geometrica chiusa che definisce un'area interna, la linea curva e la linea retta, e una figura aperta e dinamica composta da due archi di raggio differente (Figg. 6, 7).

L'approccio progettuale in questi paesaggi è stato chiaramente espresso da Laura Zampieri (2004, p. 146): «[...] trovare le soluzioni più idonee che possano diventare occasione per dialogare ed interagire con realtà territoriali in molti casi depresse, diventa una concreta opportunità perché lo sviluppo di impianti eolici si faccia tramite di nuovi coinvolgimenti delle comunità locali, mediante l'introduzione di nuovi servizi e la possibilità di fare sopravvivere strutture sociali ed usi del territorio. In tale senso il termine paesaggio va espresso nella più ampia accezione possibile, intendendo per esso la stratificazione di segni, forme, strutture sociali e testimonianze di passati più o meno prossimi che ne hanno determinato le trasformazioni, per noi tracce e guide di ulteriori trasformazioni. Questo è, infatti, il punto di partenza per una progettazione di tali infrastrutture nel territorio, capaci di inserirsi all'interno del significato specifico dei luoghi».

Sempre secondo la Zamperini l'inserimento paesaggistico di queste infrastrutture deve andare oltre al semplice impatto visivo e deve coinvolgere la struttura sociale e l'immagine fisica dei territori, cercando un equilibrio tra la produzione di energia pulita e l'innovazione attenta ai valori storici, culturali e paesaggistici.

Un altro campo di ricerche progettuali si sta formando in relazione alla diffusione sul territorio di nuove infrastrutture per la produzione energetica da fonte solare. Questi sistemi, definiti agri-voltaici³ per la loro forte integrazione con i sistemi rurali produttivi (Sirnik et alii, 2023), devono fare i conti con il consumo del suolo sottratto all'agricoltura e con il relativo impatto visivo, fattori che alimentano l'attuale dibattito sulle politiche energetiche.⁴

Esistono esperienze che impiegano in forma innovativa i sistemi di captazione solare nei progetti di infrastrutture, di riqualificazione di aree industriali dismesse e, in ambito strettamente agricolo, nei sistemi di serre e fabbricati, tuttavia sembra interessante valutare alcuni indirizzi progettuali che includono il naturale e l'artificiale e cercano una forte integrazione nel disegno delle trame agricole, evitando sistemi monofunzionali.

Nei contesti rurali, infatti, per quanto riguarda la lettura e l'interpretazione paesaggistica le tematiche sono analoghe alle infrastrutture del vento, ma si differenziano da queste per l'impatto

ambientale limitato dal punto di vista visivo e fortemente determinante per il potenziale consumo di suolo. È fondamentale, quindi, progettare l'integrazione tra gli impianti, i suoli produttivi e quelli naturali.

Un esempio in questo senso è il lavoro che in questi anni svolge lo studio catalano B2B Arquitectes di Jordi Bellmunt e Agata Buscemi sul progetto di parchi agri-voltaici. Nella regione catalana di Penedès, tra il 2021 e il 2022, lo studio ha svolto una serie di studi preliminari per la realizzazione di sei parchi agri-voltaici caratterizzati dalla ricerca delle differenti possibilità insediative dei pattern fotovoltaici (Figg. 8-13). Questi progetti

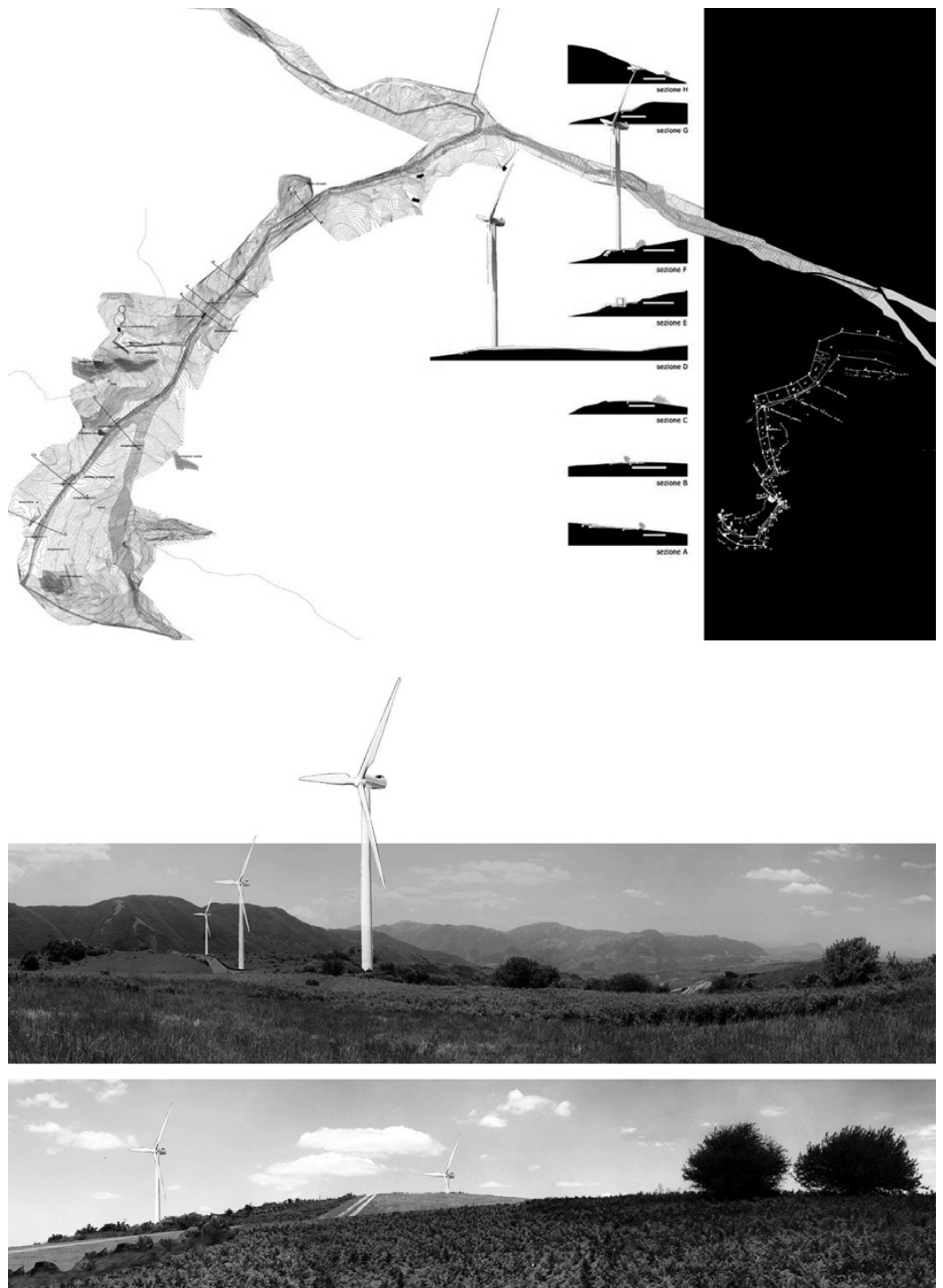


Fig. 2 | Infrastructures within the landscape of the Pescopagano project, designed by Daniela Moderini, Laura Zampieri with Giovanni Selano, Giulia Manenti, Nicola Paltrinieri and Giuseppe Cimino (credit: L. Zampieri, 2000).

Fig. 3 | General plan of the winning project Landscapes of the Wind in Pescopagano competition, designed by Daniela Moderini, Laura Zampieri with Giovanni Selano, Giulia Manenti, Nicola Paltrinieri and Giuseppe Cimino (credit: L. Zampieri, 2000).

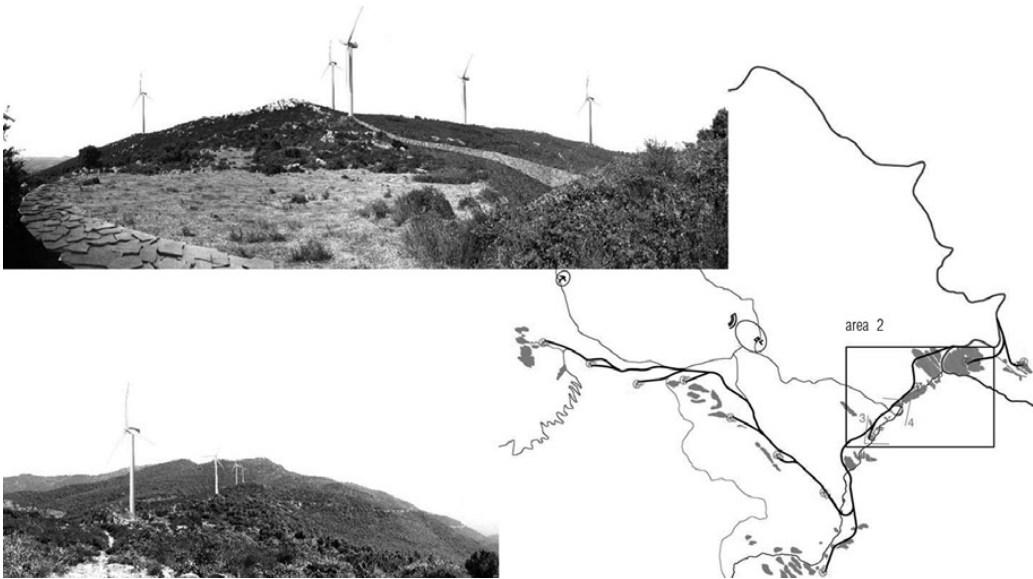


Fig. 4 | General plan of the Parque Eólico L'auleda project (La Jonquera, Catalonia, Spain), designed by Daniela Moderini, Giovanni Selano, Laura Zampieri (credit: L. Zampieri, 2004).

Fig. 5 | The Parque Eólico L'auleda project (La Jonquera, Catalonia, Spain), designed by Daniela Moderini, Giovanni Selano, and Laura Zampieri (credit: L. Zampieri, 2004).

costituiscono un esempio che, superando la dicotomia tra responsabilità e necessità di modificazione dei contesti rurali (Streimikiene et alii, 2021), assume le trame del paesaggio e i caratteri produttivi e agronomici come base per un disegno delle nuove infrastrutture, evitando l'impoverimento produttivo e il rischio del progressivo abbandono dei territori rurali, già compromessi da una difficile 'transizione' demografica e socio-economica (Peghin, 2022; Peghin, Rispoli and Picone, 2023).

Un analogo approccio è stato sviluppato per il progetto del Parco Agrovoltaiico a Castellfollit del Boix a Girona (Fig. 14) e, in Italia, con Arising Landscapes: il progetto ha ottenuto il premio City Scape 2023 nella categoria Energy Landscape⁵ per l'integrazione tra diversi saperi sulla base di un approccio transdisciplinare replicabile che consente di produrre energia pulita in un contesto in cui i valori sociali e paesaggistici del territorio

sono posti alla base della nuova infrastruttura (Figg. 15, 16).⁶

Le esperienze progettuali citate costituiscono un'esemplificazione dei criteri generali per elaborare un progetto di trasformazione paesaggistica. Vi sono già studi metodologici che definiscono criteri e orientamenti per il progetto, basati prevalentemente sull'analisi del sito, sulla letteratura – casi studio – e sulle simulazioni progettuali per valutare correlazione strutturale, funzionale ed estetica di un sito con le nuove infrastrutture (Car, Frohmann and Grimm-Pretner, 2024); tuttavia spesso queste indicazioni si fondano su una 'modellistica' di tipo quantitativo che difficilmente riesce a determinare la migliore soluzione possibile in termini di progetto di paesaggio. Bisogna guardare 'oltre' il fatto tecnico, per rivelare le potenzialità trasformatrici che l'infrastruttura può attivare in un determinato luogo. Luigi Snozzi (Rimmel and Stiftung Bibliothek Werner Oechslin, 2013), ad

esempio, riconosceva il grado di permanenza dell'infrastruttura, il suo sopravvivere come segno nel paesaggio, potenziale matrice della nuova organizzazione territoriale, come ci descrive un suo aforisma: 'l'acquedotto vive al momento che ha cessato di portare l'acqua'. L'infrastruttura per Snozzi, introduce una forma compiuta, ma per poter essere assunta come condizione storizzabile deve essere in continuità con le tracce del territorio. Questo principio della permanenza, che ha a che fare con il 'tempo dell'infrastruttura', non esclude la definizione di una 'sequenza' di fasi operative che devono basarsi su quadri conoscitivi certi e scientificamente valutabili, ma anche su una continua ridefinizione degli obiettivi e delle scelte attraverso processi partecipativi che coinvolgano tutti gli attori in gioco, dai promotori alle comunità.⁷

La prima fase deve porre alla base del progetto di trasformazione lo studio delle componenti ambientali e delle linee storico-evolutive. Fondamentale è la costituzione di un gruppo interdisciplinare per la formulazione di uno studio di fattibilità paesaggistica che introduca un quadro conoscitivo articolato nelle componenti geomorfologiche, pedologiche, idrogeologiche, insediative, storiche, l'analisi dello stato della pianificazione, l'individuazione dei principali parametri urbanistici dell'insediamento, dell'agro, delle aree tutelate e dei vincoli. Attraverso questi quadri conoscitivi si dovranno verificare le compatibilità con aspetti legati all'antropizzazione (caratteri agro-silvo-pastorali, insediamenti, reti infrastrutturali) e alle reti ecologiche (idrogeologiche e ambientali) con particolare attenzione ai contesti rurali (Abouaiana and Battisti, 2023).

La seconda fase riguarda la 'sintesi' di queste conoscenze. È sempre difficile rendere l'analisi pluridisciplinare materiale utile e ispiratore del progetto; è necessaria una 'figura' che abbia la capacità di prefigurare uno scenario tra i tanti. Non si tratta, infatti, di 'soccumbere' sotto la mole di informazioni che, difficilmente, potranno essere utilizzate, ma di operare una selezione che consenta di orientare il progetto stesso; questa 'scelta' è alla base della compilazione di una 'carta dei valori', rappresentazione e selezione delle determinanti ambientali, archeologiche, architettoniche e dei contesti storici di maggior rilievo. Questa 'carta' deve servire per individuare criticità e/o opportunità e per procedere a una stesura degli ambiti compatibili, senza ancora definire il disegno finale della proposta.

La terza fase determina la costruzione di schemi e modelli applicativi, dispositivi orientati alla definizione di alcune prefigurazioni tipo che dovranno essere verificate attraverso la loro applicazione. Questi schemi consentirebbero l'individuazione di 'pattern di paesaggio', strutture di riferimento compositiva per le tipologie di impianti. L'esito di queste 'esplorazioni' progettuali dovrebbe costituire la base per la formulazione di Linee Guida, che mettono a disposizione esempi e modelli per orientare la costruzione e il rinnovamento degli spazi aperti e coadiuvare Piani, Programmi e progetti.

Le Linee Guida potrebbero, quindi, favorire la definizione di un 'vocabolario' condiviso per i paesaggi energetici, precisando la gamma dei materiali e degli elementi che i progettisti dovrebbero impiegare, formulando 'abachi' e andando oltre gli

aspetti tecnici (trattamento dei suoli e pattern di paesaggio, percorsi, punti di osservazione e intervisibilità, aspetti della vegetazione e delle infrastrutture, in particolare opere di viabilità e idrauliche).

Una quarta fase è rappresentata dall'applicazione della Linee Guida nel contesto insediativo e ambientale di riferimento. La verifica della coerenza delle soluzioni progettuali con le caratteristiche tecnico-prestazionali degli impianti impone, in questa fase, di immaginare i paesaggi energetici con diverse soluzioni, a seconda degli obiettivi e dei differenti territori, integrando lo studio degli interventi di trasformazione del suolo con la verifica della gestione in situ delle terre di scavo, delle opere legate alla cantierizzazione, dello studio degli aspetti di dettaglio funzionale, architettonico e paesaggistico dei manufatti (strade, piazzali e sottostazioni).

Attraverso queste fasi, che rappresentano solo uno schema indicativo, il progetto deve pervenire a considerare il territorio come un sistema di 'spazi pubblici', a prescindere dalla loro ubicazione limitrofa o meno ai contesti insediativi densi; deve definire una rete di luoghi del vivere associato sulla base di una visione d'insieme e di un indirizzo culturalmente adeguato a superare la sola dimensione economica; deve attivare una forma d'azione che possa favorire in una o più comunità la formulazione di una propria visione di paesaggio, con processi condivisi e l'obiettivo di orientare l'organizzazione dello spazio insediativo verso una sua dimensione pubblica (Maciocco, 1991), come studiato anche in alcune esperienze relative al ruolo dei parchi nel contesto della transizione energetica (Cangelli et alii, 2014).

In generale la progettazione di un paesaggio energetico deve tradurre i dispositivi tecnici in modo integrato, adattandoli al contesto paesaggistico multifunzionale e cercando soluzioni su misura, caso per caso, per valorizzare le caratteristiche e gli usi esistenti (De Jong and Stremke, 2020). Deve, infine, avviare uno studio del 'tempo', con la previsione della progressiva dismissione, parziale o totale, degli impianti e il loro riutilizzo con funzioni differenti da quelle originarie.

Conclusioni: verso una transizione culturale | I

progetti e gli orientamenti descritti rendono evidente la necessità di affrontare il rapporto tra differenti saperi, evitando la dissoluzione disciplinare in un'ambigua sintesi speculativa, questione che implica una chiara identità dei ruoli e delle competenze che concorrono alla definizione di tematiche complesse. La ricerca transdisciplinare non deve rinunciare al campo eterogeneo dei saperi e l'identità disciplinare non deve essere uno stimolo alla separazione per specializzazioni, ma il tentativo di una articolazione delle competenze e delle diverse tecniche del progetto, rischio avvertito già da Siegfried Giedion (2008, p. 101) nell'immediato dopoguerra: «[...] oggi si tenta di addestrare l'architetto ad essere un piccolo specialista in ognuna delle discipline, il cui numero va di continuo aumentando. Il risultato è che egli diventa un matematico, un fisico statico, un ingegnere edile, uno storico dell'arte [...] ma sempre un dilettante [...] con il risultato di fargli smarrire il senso della sintesi».

Nonostante i riferimenti alla necessità di comprendere 'problemi complessi' con saperi e strumenti adeguati alla loro risoluzione o definizione,

l'azione sul campo sembra ancora ridotta a una sommatoria di 'tecniche' difficilmente riducibili a un'unità.

L'approccio interdisciplinare si scontra, purtroppo, con l'assenza di una 'cultura del progetto' capace di operare in contesti complessi e mutevoli: un limite che va ricercato prima di tutto nella mancanza di un profilo professionale adeguato alle nuove problematiche ambientali, in grado di considerare, in modo integrato, le componenti naturali e antropiche del paesaggio, gli aspetti tecnici e l'interpretazione culturale dei fatti geografici e paesaggistici, al fine di una conoscenza integrata dei caratteri fisici, storici, ecologici, ambientali e sociali da utilizzarsi nelle attività di progettazione paesistica e recupero ambientale per perseguire gli obiettivi previsti per la transizione energetica, ancorati al raggiungimento della cosiddetta Carbon Neutrality prevista dagli Ac-

cordi di Parigi (UN, 2015; European Commission, 2019) e ribadito dal New European Green Deal (UN, 2015; European Commission, 2019).

Il progetto di architettura, nel tempo della Transizione Energetica, deve delimitare il campo di lavoro dove i procedimenti tecnologici, le questioni ambientali, le modificazioni socio-economiche globali e locali entrano a far parte dalla riflessione sullo spazio architettonico, sulla forma e sull'organizzazione delle attività umane, sul territorio e sul paesaggio da progettare. Una cosa sembra, comunque, irrinunciabile: la consapevolezza che non si possa più sottrarsi alla ricomposizione delle complessità del progetto verso una pratica nuova che, in ogni caso, deve fondare le proprie radici nella tradizione e nella storia: «[è] solo rinnovandosi che la tradizione può diventare viva in noi per il presente e per il futuro [...]. È nella dialettica tra continuità e rinnovamento che vive la relazione tra



Figg. 6, 7 | Offshore wind farm study of alternative layout in relation to landscape (Apulia, Italia), designed by Daniela Moderini and Giovanni Selano (credits: D. Moderini, 2013).

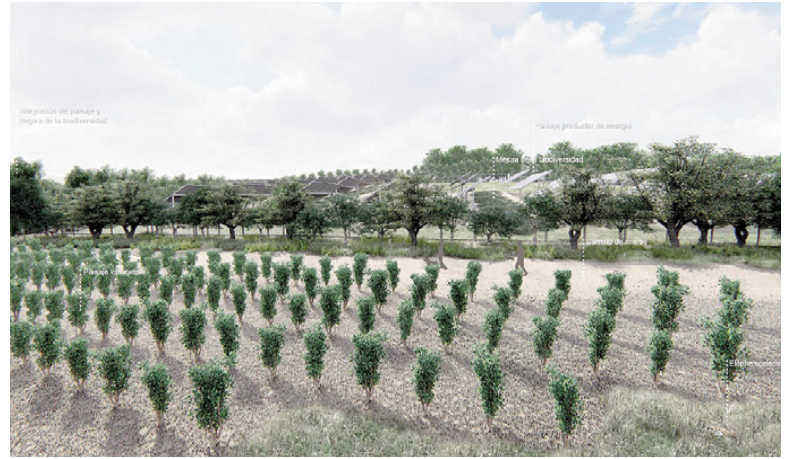


Fig. 8 | Project Sunsol 1 – Agro Photovoltaic Park, Sant Quintí de Mediona (Catalonia, Spain), designed by Agata Buscemi and Jordi Bellmunt – B2B Arquitectes (credit: B2B Arquitectes, 2020-2021).

Fig. 9 | Project Sunsol 2 – Agro Photovoltaic Park, Sant Llorenç d’Hortons; Olèrdola (Catalonia, Spain), designed by Agata Buscemi and Jordi Bellmunt – B2B Arquitectes (credit: B2B Arquitectes, 2020-2021).

gli uomini, tra i gruppi, tra i popoli» (Paci, 1966, p. 184).

Transition is a word of our time; it represents a ‘passage’, a potential modification of cultural paradigms, and an opportunity to reconsider the role of architecture and the architect as a future builder. In a similar ‘transitive’ context, albeit historically to be contextualised, the philosopher Enzo Paci (1959) argued that the future of architecture seems to depend not exclusively, but significantly, on the point of view from which modernity is interpreted. In these words, modernity was understood as an aspiration to overcome the irrationalities inherent in progress; nowadays, this thought is still relevant, due to the strong geopolitical, environmental, cultural, and technical instabilities.

Transition is a change of state, a potential revolution, and also a possible critical rupture¹. It should come as no surprise to us that every transition introduces a moment of novelty, but this step can also involve risks and problems. In the field of infrastructure, for example, change often manifests itself in all its problematic nature for a variety of reasons. The first reason concerns industrial, mobility and management of environmental processes and is related to the lack of cohesion between the structures and the landscape: often, technical intervention is completely separate from the physical and social context. A second issue concerns decision-making processes and the principle of responsibility for them: in modern societies, we rely on others for the most important decisions regarding quality of life, especially in environmental matters. Finally, the third point involves the temporal dimension and, more generally, the design of time.

The relationship between infrastructure and landscape is a critical issue, and some problematic nodes still seem unresolved, at least in the current environmental and climatic conditions. Vittorio Gregotti, in the introduction of the 1965 monographic issue of the Italian magazine *Edilizia Moderna* on *La Forma del Territorio* (the Form of the Territory), noted that the theme of that issue was

the possibility of establishing a formal technology of the anthropogeographical landscape. He stated that, rather than having theoretical claims, this technology presents itself as a list of open questions stemming from considering architects’ work as work on environmental ensembles at all dimensional scales: a sort of project and experiment starting from the attempt to meaningfully structure the physical space that man inhabits on Earth, not only working and operating aesthetically in the construction of the artefact but also conferring aesthetic value to ensembles who exist in the world before architects’ direct action (Gregotti, 1965).

The text, then reworked in *Il Territorio dell’Architettura* (The Territory of Architecture; Gregotti, 1966), initiated a debate on the territorial interpretation of the project and on the idea of an inextricable intertwining between architecture and forms of the earth that could be translated into geographical relationships and their formalisation through architecture (Secchi, 1986; Quaini, 1991; Farinelli, 1991). In these reflections, Gregotti considered the landscape as an ‘artefact’ built over time, an artificial structure composed of nature and culture, an ‘artificial homeland’ and a ‘deposit of labour’, as Carlo Cattaneo (1971) defined. Today, this systemic vision of infrastructure as architecture integrated into the landscape seems to be replaced by the technical prevalence oriented almost exclusively to the solution of problems, no longer or not only associated with a local dimension but projected into a global context that tends to eliminate the differences and identities of territories.

This situation leads us to reflect on the second question, regarding the decision-making dimension of environmental processes that often disregard the criterion of legitimacy that identifies the decision-maker with the one who suffers the effects of the decisions themselves (Chiapponi, 1989). Yet, when we refer to complex systems such as environmental ones, we should take into account the interaction between private interests and collective instances, as stated by Thomas Maldonado (1981): the moment of a formative process of reality, which is prefigured as a part, integrated and active, of a system of relations of high

complexity and whose description is not possible by resorting to the techniques of visual perception but only through the elaboration of the same with other materials from empirical research and other disciplinary fields.

This logical consideration, quite obvious if we refer to a system of stable relations and definite objectives, falls short in our time, where the system of ‘disciplinary certainties’, or at any rate the paradigms that have underpinned modern design culture, are being challenged by a continuous and unpredictable modification of models and reference contexts. Moreover, the effectiveness of decision-making processes that, in other situations, appear to be grounded in a ‘science’ that supports and guides their choice is missing. Above all future generations – a key stakeholder – are not involved. In fact, they do not hold any possibility of direct involvement, even though the outcomes of these decisions will be the arguments for their existence, even though the European Landscape Convention (Council of Europe, 2020) promotes the understanding that landscape quality must be accompanied by a democracy of the landscape (Arler, Sperling and Borch, 2023).

Philosopher José Ortega y Gasset (2018) is prophetic in stating that, if it is true that each generation consists of a peculiar sensibility, in a repertoire of intimate propensities, each generation has its own vocation and historical mission. Looming over each generation is the stern imperative to develop those inner seedlings; however, generations, like individuals, sometimes betray their vocation and fail to fulfil their mission, and it is clear that this desertion of one’s place in history is not committed with impunity.

Responsibility for choices should impose an alliance of knowledge and expertise to design the Transition, with a new integration between differentiated disciplinary fields, from environmental engineering to landscape architecture, from economics to socio-anthropological research. We are dealing with the issue of the disciplinary transversality of the project (Raiteri, 2014)². Disciplinary autonomy or integration with techniques, specificity of architecture as a science of building or expression of art? The problem remains unresolved, torn between a ‘Vitruvian’ and functionalist vision,

in which the concepts of multidisciplinary, sense of synthesis, and union of theory and practice combine, together with a notion that dwells on aspects of art, composition, and poetics: two ways of conceiving architecture that represent the oxymoron of this discipline.

The third issue concerns the 'dimension' of time, which is decisive in the future prefiguration of a place. Aristotle referred to time as a measure of change, noting that things are constantly changing, while Newton theorised an absolute time that flows independent of events and changes, both ways of deciphering time as a unique progression. Only Einstein introduces a systemic view of time: 'time' as a single quantity shatters into a web of times; we don't describe how the world evolves over time, but we describe things evolving in local times and local times evolving relative to each other; the world isn't a platoon dancing to the beat of a commander, but rather, a network of events that affect each other (Rovelli, 2017). It is the landscape's time, a system of relationships that constantly recombine because they are subject to variations, even unpredictable ones, caused by factors that cannot be controlled, such as climate, soil quality, environmental changes and uses.

Infrastructure suffers the effects of time. We cannot fail to note the charm of abandoned infrastructures, of abandoned places, transformed by

time into ruins, in artefacts that have lost their original function but have acquired an aesthetic value that before, perhaps, they had only in part, as places that arose for exclusive productive purposes (Peghin, 2019).

This is what artist Robert Smithson (1967, p. 48) saw in Passaic's 'industrial ruins': «That zero panorama seemed to contain ruins in reverse, that is – all the new construction that would eventually be built. This is the opposite of the 'romantic ruin' because the buildings don't fall into ruin after they are built but rather rise into ruin before they are built. This anti-romantic mise-en-scene suggests the discredited idea of time and many other 'out of date' things. But the suburbs exist without a rational past and without the 'big events' of history. Oh, maybe there are a few statues, a legend, and a couple of curios, but no past – just what passes for a future. [...] Passaic seems full of 'holes' [...] and those holes in a sense are the monumental vacancies that define, without trying, the memory-traces of an abandoned set of futures».

Nostalgic emotion is a longing for the past, for memory, and within landscape this feeling prevails even in very different cultural and geographical contexts (Li and Gou, 2023) compared to the awareness of the dynamic dimension inherent in its transformations. Bernardo Secchi (2010, p.12) described this process clearly, describing the

Bauce southwest of Paris and the wind rotor fields, which showed an unusual landscape. As new as when he used to go from Germany to Denmark, Secchi describes how new landscapes were marked by the rotors placed in the waters of the North Sea, or as when he crossed the mouths of the Ebro in Spain, or approached Mount Aeri behind Oristano, or travelled through many other European territories, including some in Italy. In Secchi's words, something was changing the European landscape, perhaps similar to the time when trains (or, more recently, power lines and motorways) began to either travel and structure it. Unsurprisingly, this raises feelings of nostalgia, which leads to considering the 'before' as better than the 'after'. It has always been so for the city and the territory.

Energy Landscapes | These problematic points are the basis of a reflection on Energy Landscapes, an expression that represents the image of the presence of infrastructures for energy production, their spatial dimension and their 'composition' as an element that deeply affects the design of the territory (Fig. 1), but also the communities that 'inhabit' it and the related socio-economic processes. According to Thrän, Gawel, and Fiedler (2020), energy landscapes include not only traditional landscape patterns, but also renewable resource



Fig. 10 | Project Sunsol 3 – Agro Photovoltaic Park, Sant Llorenç d’Hortons; La Granada (Catalonia, Spain), designed by Agata Buscemi and Jordi Bellmunt – B2B Arquitectes (credit: B2B Arquitectes, 2020-2021).

Fig. 11 | Project Sunsol 4 – Agro Photovoltaic Park, Avinyonet del Penedès; Olèrdola, Sant Cugat de Sessgarrigues; Sant llorenç d’Hortons (Catalonia, Spain), designed by Agata Buscemi and Jordi Bellmunt – B2B Arquitectes (credit: B2B Arquitectes, 2020-2021)

Fig. 12 | Project Sunsol 5 – Agro Photovoltaic Park, Avinyonet del Penedès; Torrelavit; Sant Llorenç d’Hortons (Catalonia, Spain), designed by Agata Buscemi and Jordi Bellmunt – B2B Arquitectes (credit: B2B Arquitectes, 2020-2021).

Fig. 13 | Project Sunsol 6 – Agro Photovoltaic Park, Avinyonet del Penedès (Catalonia, Spain), designed by Agata Buscemi and Jordi Bellmunt – B2B Arquitectes (credit: B2B Arquitectes, 2020-2021).

potentials, conversion units and related infrastructure, in addition to humans affected by the transition in very different ways: as investors, neighbours, local decision-makers, energy consumers, and many others. In the same way, landscapes must guarantee multiple functions such as supply of food and materials, protection of nature and recovery.

We cannot speak of a single energy landscape, but of a 'plural' landscape that differs strongly based on production technologies: water energies, which include hydropower plants and structures that have most altered the landscape, such as dams, reservoirs, and rivers and stream detour construction; sun energies, defined by the presence of areas dedicated to solar and photovoltaic parks; wind energies, produced in areas where point elements and lines that follow wind paths are concentrated; and finally, earth energies, geothermal energy, a source that relies on a complex infrastructural system that determines important marks on the landscape and the culture of those who inhabit them (Puttilli and Vitale, 2007).

These landscapes then share a system of energy production nodes and transmission and distribution networks that are highly integrated with existing contexts, as they are historically determined, and constitute another infrastructural 'corpus' to be considered in the design of these landscapes (De Laurentis, 2023).

If in the past these infrastructures did not cause dissent in the communities that felt their effects in the transformation of their landscape, the new energy landscapes related to the Energy Transition seem to produce, on the one hand, a rejection towards changing landscape features and, on the other hand, difficult political management of infrastructure processes (Angelucci, 2011).

In general, there is a pervasive fear of innovation that threatens to paralyse these processes, but at the same time we are faced with great collective experimentation comparable, perhaps, to the modern experience of rational housing, at least in terms of the importance and diffusion of the theme in a global context. According to Zanchini (2002), in this context, the theme of confrontation with the territory on choices, planning, mitigation interventions, and the enhancement of a transparent and clear framework of roles, responsibilities and rules takes on a decisive role; participation in the construction of decisions is decisive precisely to give strength and build consensus around complex choices; to understand and anticipate reasons for fear and conflict, and to enhance the potential of places.

Thus, an unprecedented but highly incidental design field is formed in economic production and territorial transformation processes, an articulated system that is directly linked to production processes and service networks for the distribution of primary goods (Biehl, 1991). The design of these systems should take into account, in fact, the integration of differentiated technologies (wind, solar, geothermal, etc.) and the search for design methods oriented towards the best integration of these systems in urban, periurban and rural contexts. An issue that acts not only in the field of the 'perceptual' dimension – today a privileged issue in programs of protection and definition of landscape modification rules – but in the 'design of the soil' (Secchi, 1986), which invests a broader mean-

ing and in the correlation between soil, architecture and landscape.

New infrastructure could, in this sense, encourage the construction of new landscapes while maintaining the identity of existing ones; according to Bernardo Secchi (2010), if only we arranged the wind rotors, for example, according to a logic: by building lines that reveal the structure of the routes that cross the plain; by building islands that somehow reflect the older ones of the rural settlement and the woods that protect it, seeking a design capable of integrating technical requirements with the character of the landscape and imposing a verification at the different scales of the project, from the micro-scale, relating to the structural works necessary for the location of the facilities, to the macro-scale of the overall perception of the infrastructure.

Design guidelines for Energy Transition | The variety of energy production infrastructure results in different design evaluation mechanisms. Extensive studies on the arrangement of turbines in linear patterns or grids have produced, for example, technical measurements that enable advantageous placement, to take advantage of wind conditions, maximising productive results (Harsema, 1998; van Dooren and van Leeuwen, 2003), interpreting environmental characters and possible interactions with the land almost exclusively from a 'disturbance' point of view, especially with regard to the perceptual aspect, since the location of a large number of wind turbines organised 'in clusters' generates a densification effect that is difficult to limit.

In the field of wind energies, the discussion mainly focuses on the visual impacts on the territory, while less attention is paid to the structures necessary to insert wind turbines in the territories. On the other hand, landscape characteristics and territorial repercussions are not 'measurable' data but must be evaluated occasionally, often throughout the project.

Some projects exemplify this direction, namely a focus on site reconstruction and relationships with the pre-existing landscape. In 2000, the competition entitled *Landscapes of the Wind*, promoted by Enel and Legambiente, compared different design solutions that introduced a systemic vision of energy infrastructure. Among these, the project by Daniela Moderini, Giovanni Selano and Laura Zampieri for the Monte Caruozzo site in Pescopagano, winner of the first prize, aimed to offer an opportunity for the territory: the wind farm used topographic traces and landscape elements, generating a 'wind road' that integrated archaeological, monumental, historical, naturalistic and enogastronomic places consolidated in the territory (Moderini and Selano, 2006). This choice goes beyond the technical fact of using the new infrastructure under a collective land use configuration, immediate but also potential over time (Fig. 2, 3).

Moderini, Selano, and Zampieri have experimented with this systemic approach in other sites; an approach geared toward the reading of landscape features and the prospects for use in the 'long-term' of wind infrastructure, as in the Parque Eólico de l'Auleda project, in which the design of an itinerary defines the structure of the landscape, making it possible to overturn the 'technical' vision into a device for building a park (Fig. 4). Final-

ly, between 2004 and 2014, the Roseto Valfortore Wind Park was created in the Province of Foggia, succeeding in defining a system of places in the ridge 'lines' that restore the ancient paths of transhumance (Fig. 5).

In 2013, Moderini and Selano addressed the issue of wind landscapes applied to a particular contextual condition, that of offshore installations, in a study of alternative layouts in relation to the seascape, proposing three planimetric solutions to generate a relationship with the coastline as the key to redefining the coastal landscape, controlling the visual impact that is determined at some strategic points, while still allowing the maintenance of energy productivity. The proposed layouts are based on elementary geometric 'shapes': the ellipse, a closed geometric figure defining an inner area, the curved line and the straight line, and an open, dynamic figure composed of two arcs of different radius (Fig. 6, 7).

The design approach in these landscapes was clearly expressed by Laura Zampieri (2004, p. 146), who argued that finding the most suitable solutions that can become an opportunity to dialogue and interact with territorial realities in many cases depressed, becomes a concrete opportunity, as the development of wind farms is made through new involvement of local communities, through the introduction of new services and the possibility for the survival of social structures and land uses. In this sense, the term landscape must be expressed in the widest possible sense, meaning the stratification of signs, forms, social structures and testimonies of more or less near past that have determined the transformations, to be understood as traces and guidelines of further transformations. This is, in fact, the starting point for the design of such infrastructures within the territory, capable of fitting within the specific meaning of places.

Still, according to Zamperini, the landscaping of these infrastructures must go beyond mere visual impact to engage the social structure and physical image of the territories, seeking a balance between clean energy production and innovation that is attentive to historical, cultural and landscape values.

Another field of design research is evolving in connection with the diffusion of new infrastructures for energy production from solar sources on the territory. These systems, called agrivoltaic³ due to their strong integration with rural productive systems (Sirmik et alii, 2023), have to contend with the consumption of land taken away from agriculture and the associated visual impact, factors that fuel the current debate on energy policies.⁴

While admittedly experiences exist that employ solar collection systems in an innovative form in infrastructure projects, redevelopment of brown-field sites and, strictly in the agricultural sphere, in greenhouse and building systems, it is interesting to evaluate some design directions that lead between the natural and the artificial and seek strong integration in the design of agricultural plots, avoiding monofunctional systems.

In rural contexts, in fact, in terms of landscape reading and interpretation, the issues are similar to wind infrastructure, but differ from the latter in terms of their visually limited environmental impact, which is strongly determined by potential land consumption. Therefore, it is essential to de-

sign the integration between plants, productive soils and natural soils.

An example of this is the recent work done by the Catalan firm B2B Arquitectes, under Jordi Bellmunt and Agata Buscemi, on the design of agrivoltaic parks. In the Catalan region of Penedès, between 2021 and 2022, the firm carried out a series of preliminary studies for the construction of six agrivoltaic parks characterised by research on the different settlement possibilities of photovoltaic patterns (Fig. 8-13). These projects provide an example that, by overcoming the dichotomy between responsibility and need for modification of rural contexts (Streimikiene et alii, 2021), takes landscape textures and productive and agronomic characters as the basis for a design of new infrastructure, avoiding productive impoverishment and the risk of progressive abandonment of rural territories, already compromised by a difficult demographic and socio-economic 'transition' (Peghin, 2022; Peghin, Rispoli and Piccone, 2023).

A similar approach was developed for the Parco Agrovoltaico project in Castellfollit del Boix in Girona (Fig. 14) and, in Italy, with Arising Landscapes: the project received the City Scape 2023 award in the Energy Landscape category⁵ for the integration between different knowledge areas based on a replicable transdisciplinary approach that allows the production of clean energy in a context in which the social and landscape values of the territory are placed at the base of the new infrastructure (Fig. 15, 16).⁶

The design experiences mentioned are an example of the general criteria for developing a landscape transformation project. Some methodological studies already define design criteria and guidelines, based mainly on on-site analysis, literature-case studies, and design simulations to assess the structural, functional, and aesthetic correlation of a site with new infrastructure (Car, Frohmann and Grimm-Pretner, 2024); however, these indications are often based on quantitative 'modelling', hardly adequate in determining the best possible solution in terms of landscape design. It is necessary to look beyond the technical, to reveal the transformative potential that infrastructure can activate in a given place.

Luigi Snozzi (Rimmel and Stiftung Bibliothek Werner Oechslin, 2013), for example, recognised the degree of permanence of the infrastructure, its survival as a sign in the landscape, a potential matrix of the new territorial organisation; as one of his aphorisms describes, the aqueduct lives on at the moment that it has ceased to carry water. According to Snozzi, infrastructure introduces an accomplished form, but in order to be accepted as a historically recognisable condition, it must be in continuity with the traces of the territory. This principle of permanence, which has to do with 'infrastructure time', does not, however, exclude the definition of a 'sequence' of operational steps that must be based on certain and scientifically assessable cognitive frameworks, but also on a continuous redefinition of objectives and choices through participatory processes involving all the actors involved, from promoters to communities.⁷

The first phase must set the study of environmental components and historical-evolutionary lines as the foundation of the transformation project. Fundamental is the establishment of an inter-



Fig. 14 | Agro Photovoltaic Park, Castellfollit del Boix (Girona, Spain), designed by Agata Buscemi and Jordi Bellmunt – B2B Arquitectes (credit: B2B Arquitectes, 2020).

Fig. 15, 16 | The project Arising Landscapes in Giussago (Pavia), designed by Agata Buscemi and Jordi Bellmunt – B2B Arquitectes (credits: B2B Arquitectes, 2022).

disciplinary team to formulate a landscape feasibility study that introduces a cognitive framework articulated in geomorphological, pedological, hydrogeological, settlement, and historical components, the analysis of the state of planning, and the identification of the main urban parameters of settlement, agro, protected areas, as well as the constraints. Through these cognitive frameworks, it is necessary to verify the compatibility with aspects related to anthropisation (agro-silvo-pastoral characters, settlements, infrastructure networks) and ecological networks (hydrogeological and environmental) with particular attention to rural contexts (Abouaiana and Battisti, 2023).

The second phase concerns the 'synthesis' of these cognitive frameworks. It is always challenging to make multidisciplinary analysis useful and inspiring material for the project; a 'figure' is needed with the ability to envision one scenario among many. It is not, in fact, a matter of 'succumbing' under the sheer volume of information that is unlikely to be used, but of making a selection that allows the project itself to be guided. This 'choice' is the foundation for compiling a 'map of values', representing and selecting environmental, archaeological, architectural determinants and historical contexts of greatest significance. This 'map' should serve to identify critical issues and / or opportunities and proceed with the drafting of compatible areas, though not yet defining the final design of the proposal.

The third stage introduces the construction of application schemes and models, devices geared toward defining a number of model prefigurations that will need to be verified through their application. These layouts would allow the identification of 'landscape patterns', and compositional reference structures for plant types. The outcome of these design 'explorations' should form the basis for formulating Guidelines, a tool that provides examples and models to guide the construction and renewal of open spaces and assist Plans, Programmes and projects.

The Guidelines could, therefore, favour the definition of a shared 'vocabulary' for energy landscapes, specifying the range of materials and elements that designers should use, formulating 'abacuses' and reaching beyond the technical aspects (treatment of soils and landscape patterns, pathways, viewpoints and intervisibility, aspects of vegetation and infrastructure, particularly road and hydraulic works).

The fourth phase concerns the application of the Guidelines in the relevant settlement and en-

vironmental context. The consistency check of the design solutions with the technical-performance characteristics of the facilities requires, at this stage, imagining energy landscapes with different solutions, depending on objectives and different territories, integrating the study of land transformation interventions with the verification of the in situ management of excavated soil, site-related construction works, the study of functional, architectural and landscape detail aspects of the artefacts (roads, squares and substations).

Through these phases, which represent only an indicative outline, the project must come to consider the territory as a system of 'public spaces', regardless of whether or not they are located adjacent to dense settlement contexts; it must define a network of the places of associated living based on an overall vision and a culturally adequate direction that goes beyond the economic dimension alone; it must activate a form of action that can foster in one or more communities the formulation of their own vision of landscape, with shared processes and the goal of orienting the organisation of settlement space toward its public dimension (Maciocco, 1991), as also studied in some experiences related to the role of parks in the context of energy transition (Cangelli et alii, 2014).

In general, the design of an energy landscape must translate technical devices in an integrated way, adapting them to the multifunctional landscape context and searching for tailor-made solutions, on a case-by-case basis, enhancing existing characteristics and uses (De Jong and Stremke, 2020). Finally, a study of 'time' needs to be undertaken, with plans for the gradual decommissioning of facilities, either partial or total, and their reuse with different functions from the original ones.

Conclusions: toward a cultural transition | The projects and directions described clearly reveal the need to address the relationship between different knowledge areas, avoiding a disciplinary dissolution into an ambiguous speculative synthesis, an issue that implies a clear identity of the roles and competencies that contribute to the definition of complex issues. Transdisciplinary research should not forego the heterogeneous field of knowledge, and disciplinary identity should not be a stimulus to separation by specialisations, but an attempt at articulating the skills and different techniques of the design risk. Siegfried Giedion (2008, p. 101), in the immediate postwar period, already warned that an attempt was being made to train the architect to be a minor specialist in

each of the disciplines, the number of which is constantly increasing: the result is that the architect becomes a mathematician, a static physicist, a construction engineer, an art historian, but always an amateur, thus losing his sense of synthesis. Despite references to the need to understand 'complex issues' with appropriate knowledge and tools to solve or define them, action in the field still appears to be whittled down to a summation of 'techniques' that are difficult to reduce to a unit.

The interdisciplinary approach, unfortunately, clashes with the absence of a 'design culture' capable of operating in complex and changing contexts: a limitation that is to be sought first of all in the lack of a professional profile adequate to the new environmental and socio-territorial issues, capable of considering, in an integrated way, the natural and anthropic components of the landscape, the technical aspects and the cultural interpretation of geographic and landscape facts, to form an integrated knowledge of physical, historical, ecological, environmental and social characters to be used in landscape design and environmental restoration activities and to pursue the objectives envisaged for the energy transition, anchored in the achievement of the so-called Carbon Neutrality envisaged by the Paris Agreements (UN, 2015; European Commission, 2019) and reaffirmed by the New European Green Deal (UN, 2015; European Commission, 2019).

Architectural design, in the era of the Energy Transition, must delineate a field of work where technological procedures, environmental issues, and global and local socioeconomic changes become part of the reflection on architectural space, the form and organisation of human activities, and the territory and landscape to be designed. One thing seems, however, indispensable: the realisation that we can no longer escape the reconstruction of design complexities towards a new practice that, in any case, must be rooted in tradition and history: only by renewing ourselves can tradition become alive in us for the present and the future: the relationship between men, between groups, and between populations lives in the dialectic between continuity and renewal (Paci, 1966).

Notes

1) In consulting various dictionaries, such as the *Trecani* dictionary, it is evident that the word 'transition' is broadly understood and can be interpreted differently according to various fields of knowledge when commenting on it. For example, the Latin meaning of 'passage' ('transire') represents a paradigm shift or break with a previous conception when associated with topical issues such as energy. In some scientific fields, such as physics, 'transitions' are phases in which a system passes from a condition of order to a condition of disorder and vice versa. In other contexts, the word takes on the definitive sense of

'death', of the end. All these meanings, however, point to the possibility of a shift to new conceptions of application, of a transition that is nonetheless necessary.

2) In general, if we do not want to attribute ambiguous meanings to words, we can distinguish between multidisciplinary, i.e., the study of the same object by several disciplines, interdisciplinarity as the transfer of methods or theories from one discipline to another, and transdisciplinarity, an approach that crosses disciplines with the purpose of complete and articulated knowledge.

3) Agrivoltaic indicates the application of installations in rural and agricultural territories to generate photovoltaic energy. This mode allows, if designed with attention to

the site's environmental and productive characteristics, the balanced coexistence of ecosystem and agro-pastoral functions on the one hand and farm multifunctionality on the other.

4) In the proposed law brought to parliament by current Environment Minister Gilberto Pichetto Fratin, photovoltaic systems on agricultural land are banned from being installed on the ground. The rule considers areas classified as agricultural by current urban plans as areas unsuitable for the installation of photovoltaic systems.

5) The Arising Landscapes project was submitted to the International Landscape Design Competition Agrivoltaic for Noah's Ark promoted by Agrivoltaico Sostenibile,

ENEa, NeoruraleHub, EtaFlorence Renewable Energies, in arch. AIAPP and located in the Municipality of Gius-sago, Province of Pavia, obtaining the City Scape 2023 award in the Energy Landscape category. The award is promoted by the National Council of Architects, Planners, Landscape Architects and Conservationists, organised by PAYSAGE – Promotion and Development for Landscape Architecture, under the non-profit sponsorship of the Order of Architects P.P.C. of Piacenza.

6) A complete exposition of the projects by B2B Architects can be found at the webpage: b2barq.com/projects/ [Accessed 30 March 2024].

7) These indications are part of an activity that the DICAAR of the University of Cagliari is carrying out by preparing program agreements and research agreements with private subjects and energy production companies.

References

- Abouaiana, A. and Battisti, A. (2023), “Insights and Evidence on Energy Retrofitting Practices in Rural Areas – Systematic Literature Review (2012-2023)”, in *Buildings*, vol. 13, issue 7, article 1586, pp. 1-27. [Online] Available at: doi.org/10.3390/buildings13071586 [Accessed 30 March 2024].
- Angelucci, F. (ed.) (2011), *La costruzione del paesaggio energetico*, FrancoAngeli, Milano. [Online] Available at: francoangeli.it/Libro/La-costruzione-del-paesaggio-energetico.?Id=18736 [Accessed 30 March 2024].
- Arler, F., Sperling, K. and Borch, K. (2023), “Landscape Democracy and the Implementation of Renewable Energy Facilities”, in *Energies*, vol. 16, issue 13, article 4997, pp. 1-27. [Online] Available at: doi.org/10.3390/en16134997 [Accessed 30 March 2024].
- Biehl, D. (1991), “Il ruolo delle Infrastrutture nello sviluppo regionale”, in Boscacci, F. and Gorla, G. (eds), *Economie locali in ambiente competitivo*, FrancoAngeli, Milano, pp. 219-253. [Online] Available at: byterfly.eu/islandora/object/libri:922023#page/254/mode/2up [Accessed 30 March 2024].
- Cangelli, E., Baiani, S., Sibilla, M. and Rotondo, R. (2014), “Eco Power Parks – Infrastrutturazione energetica dei parchi regionali | Eco Power Parks – Energy Development of Regional Parks”, in *Techné | Journal of Technology for Architecture and Environment*, vol. 8, pp. 145-154. [Online] Available at: doi.org/10.13128/Techné-15069 [Accessed 30 March 2024].
- Car, C., Frohmann, E. and Grimm-Pretner, D. (2024), “Solar Landscapes – A Methodology for the Adaptive Integration of Renewable Energy Production into Cultural Landscapes”, in *Sustainability*, vol. 16, issue 5, article 2216, pp. 1-15. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su16052216 [Accessed 30 March 2024].
- Cattaneo, C. (1971), *Scritti sulla Lombardia*, vol. I, Ceschina, Milano.
- Chiapponi, M. (1989), *Ambiente – Gestione e strategie – Un contributo alla teoria della progettazione ambientale*, Feltrinelli, Milano.
- Council of Europe (2020), *European Landscape Convention*, European Treaty Series No. 176. [Online] Available at: coe.int/en/web/conventions/-/council-of-europe-landscape-convention-ets-no-176-translations [Accessed 30 March 2024].
- De Jong, J. and Stremke, S. (2020), “Evolution of Energy Landscapes – A Regional Case Study in the Western Netherlands”, in *Sustainability*, vol. 12, issue 11, article 4554, pp. 1-28. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su12114554 [Accessed 30 March 2024].
- De Laurentis, C. (2023), “Reshaping energy landscape – A regional approach to explore electricity infrastructure networks”, in *Landscape Research*, vol. 48, issue 2, pp. 224-238. [Online] Available at: doi.org/10.1080/01426397.2022.2047910 [Accessed 30 March 2024].
- European Commission (2019), *Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – The European Green Deal*, document 52019DC0640, 640 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN [Accessed 30 March 2024].
- Farinelli, F. (1991), “L’arguzia del paesaggio”, in *Casabella*, n. 575-576, pp. 10-12. [Online] Available at: landscapebuiheritage.files.wordpress.com/2015/02/casabella-575-6_larguzia-del-paesaggio.pdf [Accessed 30 March 2024].
- Giedion, S. (2008), *Breviario di Architettura*, Bollati Boringhieri, Torino.
- Gregotti, V. (1965), “La forma del territorio”, in *Edilizia Moderna*, n. 87-88, pp. 1-11.
- Gregotti, V. (1966), *Il Territorio dell’Architettura*, Feltrinelli, Milano.
- Harsema, H. (1998), “Wind turbines in the landscape”, in Cusveller, S. (ed.), *Landscape architecture and town planning in the Netherlands 95-97*, Thoth, Bussum, pp. 74-77.
- Li, S. and Gou, Z. (2023), “Accepting Solar Photovoltaic Panels in Rural Landscapes – The Tangle among Nostalgia, Morality, and Economic Stakes”, in *Land*, vol. 12, issue 10, article 1956, pp. 1-19. [Online] Available at: doi.org/10.3390/land12101956 [Accessed 30 March 2024].
- Maciocco, G. (ed.) (1991), *La pianificazione ambientale del paesaggio*, FrancoAngeli, Milano.
- Maldonado, T. (1989), “Presentazione”, in Chiapponi, M., *Ambiente – Gestione e strategie – Un contributo alla teoria della progettazione ambientale*, Feltrinelli, Milano, pp. 5-9.
- Maldonado, T. (1981), *Paesaggio – Immagine e Realtà*, Electa, Milano.
- Moderini, D. and Selano, G. (2006), “Windscape”, in *Topos*, n. 56, pp. 14-20. [Online] Available at: researchgate.net/publication/273446093_Windscape_in_Topos_56_-_Cultural_Landscape [Accessed 30 March 2024].
- Ortega y Gasset, J. (2018), *Il tema del nostro tempo – La vita come dialogo tra l’Io e la circostanza*, Sugarco Edizioni, Milano.
- Paci, E. (1966), *Relazioni e significati*, Milano, Lampugnani Nigri.
- Paci, E. (1959), “La crisi della cultura e la fenomenologia dell’architettura contemporanea”, in *La Casa*, Quaderni di Architettura e Critica, n. 6, De Luca, Roma, pp. 353-365.
- Peghin, G. (2022), “Sardegna Città-Territorio”, in Cecchini, A. and Sanna, A. (eds), *Il capitale territoriale – Misure e progetti per le aree interne della Sardegna*, FrancoAngeli, Milano, pp. 147-160.
- Peghin, G. (2019), *Re-Mine – Architecture and modification of abandoned mine landscape*, Libria, Melfi.
- Peghin, G., Picone, A. and Rispoli, F. (2023) (eds), *Tanti Paesi – Aree interne e insediamenti rurali*, Libria, Melfi.
- Puttilli, M. and Vitale Brovarone, E. (2007), “I paesaggi energetici come paesaggi culturali – In cerca di nuove immagini della sostenibilità”, in *XII Convegno Nazionale Interdisciplinare – Volontà, Libertà e Necessità nella creazione del mosaico paesistico-culturale – Cividale del Friuli, 25-26 Ottobre 2007*, pp. 1-11. [Online] Available at: researchgate.net/publication/278684654_I_paesaggi_energetici_come_paesaggi_culturali_in_cerca_di_nuove_immagini_della_sostenibilita [Accessed 30 March 2024].
- Quaini, M. (1991), “Per una archeologia dello sguardo topografico”, in *Casabella*, n. 575-576, pp. 13-17. [Online] Available at: landscapebuiheritage.files.wordpress.com/2015/02/casabella-575-6_per-una-archeologia-dello-sguardo-topografico.pdf [Accessed 30 March 2024].
- Raiteri, R. (2014), *Progettare progettisti – Un paradigma della formazione contemporanea*, Quodlibet, Macerata.
- Rimmel, M. and Stiftung Bibliothek Werner Oechslin (eds) (2013), *Luigi Snozzi – 25 Aphorismen zur Architektur*, Verlag, Basel.
- Rovelli, C. (2017), *L’Ordine del Tempo*, Adelphi, Milano.
- Secchi, B. (2010), “Energia eolica – La costruzione di un nuovo paesaggio”, in Zanchini, E. (ed.), *Smisurati giganti?*, Alinea editrice, Firenze, pp. 12-13.
- Secchi, B. (1986), “Progetto di Suolo”, in *Casabella*, n. 520-521, pp. 19-23.
- Sirnik, I., Sluijsmans, J., Oudes, D. and Stremke, S. (2023), “Circularity and landscape experience of agri-voltaics – A systematic review of literature and built systems”, in *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 178, article 113250, pp. 1-12. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.rser.2023.113250 [Accessed 30 March 2024].
- Smithson, R. (1967), “The Monuments of Passaic – Has Passaic replaced Rome as eternal city?”, in *Artforum*, vol. 6, issue 4, pp. 48-51.
- Streimikiene, D., Baležentis, T., Volkov, A., Morkūnas, M., Žickienė, A. and Streimikis, J. (2021), “Barriers and Drivers of Renewable Energy Penetration in Rural Areas”, in *Energies*, vol. 14, issue 20, article 6452, pp. 1-28. [Online] Available at: doi.org/10.3390/en14206452 [Accessed 30 March 2024].
- Thrän, D., Gawel, E. and Fiedler, D. (2020), “Energy landscapes of today and tomorrow”, in *Energy, Sustainability and Society*, vol. 10, article 43, pp. 1-3. [Online] Available at: doi.org/10.1186/s13705-020-00273-2 [Accessed 30 March 2024].
- UN – United Nations (2015), *Paris Agreement*. [Online] Available at: unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf [Accessed 30 March 2024].
- van Dooren, N. and van Leeuwen, R. (eds) (2003), “Windturbines, ijselmeergebied”, in *Alle Hesper – Landschapsarchitect 1943-1997*, Uitgeverij-Nai 010, Rotterdam, pp. 142-145.
- Zampieri, L. (2005), “Le strade del vento – Centrali eoliche e territorio”, in Maffioletti, S. (ed.), *Paesaggi delle infrastrutture*, Quaderni Iuav, n. 38, Il Poligrafo, Padova, pp. 146-155.
- Zanchini, E. (2002), *Paesaggi del vento*, Meltemi, Roma.

ARTICLE INFO

Received	14 May 2024
Revised	20 May 2024
Accepted	30 May 2024
Published	30 June 2024

LA PREVISIONE STRATEGICA URBANA NEL CONTESTO EUROPEO

Le lezioni di Ginevra e Lussemburgo

URBAN STRATEGIC FORESIGHT IN EUROPEAN TERRITORIES

Lessons from Geneva and Luxembourg

Panos Mantziaras

ABSTRACT

Il contributo propone una panoramica delle consultazioni internazionali tenutesi nell'ultimo decennio a Ginevra e a Lussemburgo nell'ambito del processo di transizione ecologica avviato nei loro territori. La prima parte del contributo inquadra il contesto di riferimento all'interno del quale le consultazioni hanno avuto luogo, riportando l'evoluzione delle condizioni ambientali locali; la seconda parte espone brevemente il metodo della 'previsione strategica' utilizzato in entrambe le consultazioni; la terza parte riporta gli esiti delle consultazioni e le proposte ai governi nazionali e locali e ai loro omologhi transfrontalieri di metodi, strumenti e dispositivi per prendere atto dell'attuale crisi ambientale ed elaborare progetti coordinati a tutte le scale. L'obiettivo generale era orientare le comunità locali verso percorsi di sviluppo a zero emissioni di carbonio e di adattamento ai cambiamenti climatici. Il testo si conclude con alcune riflessioni sull'attualità di questo processo, con l'intento di far capire come la progettazione partecipata sia un valido strumento per costruire un rinnovato ruolo critico della disciplina architettonica in un contesto ambientale sociale ed economico di incertezza futura e innescare la consapevolezza che approcci, metodologie e strumenti del progetto non possono più fondarsi sull'ideologia di preponderanza antropocentrica sulla biosfera: l'architettura deve sostenere un ruolo primario nel farsi portavoce delle sfide cruciali del nostro tempo.

The contribution offers an overview of the international consultations held over the past decade in Geneva and Luxembourg as part of the ecological transition process initiated in their territories. The first part frames the context within which the consultations occurred, reporting on the evolution of regional environmental conditions. The second part briefly describes the 'strategic foresight' method in both consultations. The third part reports on the outcomes of the consultations and proposals to national and local governments and their transboundary counterparts for methods, tools and devices to tackle the current environmental crisis and develop coordinated projects at all scales. The overall objective was to steer local communities towards zero-carbon development paths and climate change adaptation. The text concludes with some reflections on the timeliness of strategic foresight as a valuable tool for building a renewed critical role of the architectural discipline in a context of social and environmental uncertainty. It argues that design approaches, methodologies and tools can no longer be based on the ideology of anthropocentric dominance over the biosphere: instead, architecture must sustain a primary role in becoming a spokesperson for the crucial challenges of our time.

KEYWORDS

previsione strategica, visione, territorio, approccio multiscale, risorse

strategic foresight, vision, territory, multiscale approach, resources



Panos Mantziaras, Architect-engineer and Doctor in Urbanism, as the Head of the French Office of Architectural, Urban and Landscape Research initiated 'Ignis Mutat Res – Looking at Architecture, the City and the Landscape through the Prism of Energy' (2010-2014). Since 2015, as the Director of the Fondation Brailard Architectes, he has developed The Eco-Century Project® and The Transition Workshop™. He published 'La Ville-Paysage' (2008) e co-autore di 'Le Sol des Villes' (2016), 'Inégalités Urbaines' (2017), 'Urbanisme de l'Espoir' (2018), 'Racines Modernes de la Ville Contemporaine' (2019), and 'Dessiner la Transition' (2020). E-mail: panos.mantziaras@brailard.ch

Le consultazioni internazionali per i territori transfrontalieri di Ginevra e di Lussemburgo sono state concepite e gestite in contesti diversi, anche se presentano caratteristiche comuni rispetto al loro carattere regionale transfrontaliero; il riferimento generale è quello dell'emergenza ambientale che interessa l'intero Pianeta, riconosciuta dall'astrofisico francese Aurélien Barrau (2019) come la più grande sfida dell'umanità richiedente uno sforzo coordinato, collaborativo, interdisciplinare e multi-stake-holders. L'obiettivo è abbandonare l'attuale modello di sviluppo basato sul consumo di suolo per passare a una società più consapevole, equilibrata e rispettosa di tutti gli esseri che fanno parte dell'ecosistema. Man mano che le conoscenze scientifiche si consolidano e comprendiamo meglio la realtà la complessità di questa sfida sistemica aumenta.

L'iniziale scetticismo sugli effetti dei cambiamenti climatici che ha caratterizzato il primo decennio del nuovo millennio ha lasciato lentamente posto a una presa di coscienza 'politica' della 'minaccia esistenziale per l'umanità', come ripetutamente sottolineato dal Segretario generale delle Nazioni Unite Xavier Guterres, soprattutto dopo la pubblicazione del sesto Rapporto dell'IPCC il 20 marzo 2023 (IPCC, 2023); parallelamente gli effetti delle emissioni di gas serra – individuali e collettive, da parte di utenti e prodotti, ecc. – si sono presentati nella loro gravità anche ai singoli individui.

Tuttavia questi progressi nella consapevolezza non hanno mitigato efficacemente gli impatti dal carattere irreversibile sull'equilibrio della biosfera; a tal proposito un sottogruppo della Commissione Stratigraphy of the International Union of Geological Sciences (IUGS; Subramanian, 2019) ha sostenuto negli ultimi quindici anni, attraverso prove scientifiche, che l'attività umana è stata la principale causa di questo impatto negativo sul Pianeta. Se nel gergo dei geologi il termine 'epoca' descrive un lasso di tempo della durata tipica di qualche milione di anni, molto più breve di un 'periodo' geologico come il Giurassico, durato 54 milioni di anni, o di una 'era' come il Mesozoico, durato 186 milioni di anni, non possiamo accettare il termine Antropocene riferito ad un'epoca. Nonostante le diverse scienze abbiano accolto positivamente questo termine, l'IUGS ha deciso infatti nel febbraio 2024 di non 'confermarlo' ratificando la decisione il 20 marzo 2024. Vista la posta in gioco (Brion, 2023; Zhong, 2024)¹ le date sono particolarmente importanti; pertanto siamo ancora bloccati nel periodo dell'Olocene.

In base a tale decisione la comunità scientifica perde l'occasione di lanciare un messaggio forte a tutti coloro che si occupano di materia, energia e persone senza curarsi delle conseguenze globali delle loro azioni, che sono letteralmente 'over-acting' a livello locale e 'under-thinking' a livello globale: vale a dire che l'azione antropica sta diventando dannosa per la vita sulla Terra, con un effetto boomerang sul nostro benessere e, in definitiva, sulla nostra sopravvivenza. L'estrazione indiscriminata di materie prime, la loro trasformazione chimica, la produzione e il consumo di energia da combustibili fossili, la sovrabbondanza di rifiuti e una popolazione in continua crescita, che con gli animali domestici rappresenta il 97% di tutti i vertebrati, preannunciano un futuro tutt'altro che roseo per la vita biologica sulla Terra.

In tale prospettiva se l'obiettivo delle discipline legate alla modifica dello spazio – come l'architettura, l'urbanistica, l'architettura del paesaggio e la pianificazione regionale – era inizialmente 'proteggere l'uomo dalla natura', come raffigurato nella nozione vitruviana di capanna, oggi l'obiettivo deve essere 'proteggere la natura dall'umanità'. Nonostante le critiche mosse dall'antropologo francese Philippe Descola (2014) all'idea di una contrapposizione fra natura e cultura, è opinione condivisa che in futuro l'uomo vivrà in condizioni difficili, come sottolineato anche dall'economista turco-americano Nouriel Roubini (2022).²

Si avverte quindi la necessità di invertire la rotta avviando un nuovo percorso caratterizzato dalla 'transizione ecologica'. La terminologia è molto chiara in quanto esplicita che la società deve 'transitare' da uno stile di vita insostenibile a uno sostenibile seguendo due percorsi inestricabilmente intrecciati: 1) la decarbonizzazione (o mitigazione), che mira a eliminare (o ridurre) 'gradualmente' le emissioni di gas serra dovute alle attività umane e, rivisitando la citata contrapposizione, a proteggere la natura dall'impatto antropico; 2) la resilienza (o adattamento), che comporta la riorganizzazione 'graduale' delle società per gestire efficacemente gli effetti negativi del riscaldamento globale, salvaguardando così l'umanità dall'impatto di eventi calamitosi e di cambiamenti climatici.

Mentre per il primo percorso i dati (desunti da metriche e metodologie di rendicontazione già messe a punto e costantemente migliorate) riferiscono che l'umanità sta utilizzando la natura 1,7 volte più velocemente di quanto sia la biocapacità del nostro Pianeta di rigenerarsi, il che equivale a utilizzare le risorse di 1,7 Terre³, per il secondo percorso metriche, standard e metodologie sono ancora tutte da definire e validare. Infatti se resilienza è 'imparare facendo' spesso è necessario un evento catastrofico per valutare la resilienza di un edificio, di un sito o di una comunità: la perdita di vite, i danni alle case e alle città, il numero di alberi sradicati o la quantità di raccolto perduto possono essere valutati solo dopo che si è verificato un evento calamitoso, la cui valutazione spingerà a mettere in campo misure sempre più efficienti sino a quando una calamità più catastrofica non colpirà di nuovo e ulteriori nuove misure dovranno essere pensate. In effetti nell'immaginare il futuro la resilienza richiede un approccio fondamentalmente diverso rispetto a quello della decarbonizzazione: in definitiva si tratta di costruire e pianificare in mezzo alla tempesta raffigurata nella famosa vignetta riportata in Figura 1.

Pianificazione ecologica, erede del positivismo modernista

Come possiamo facilitare questa transizione, soprattutto nel contesto urbano che rappresenta contemporaneamente l'ambito, il driver e la soluzione in cui operare il cambiamento? Fin dalla sua nascita la pianificazione urbana è stata un catalizzatore del progresso dell'umanità verso un futuro più luminoso, in particolare dalla fine del XIX secolo fino al boom economico del secondo dopoguerra. Tuttavia, come ha giustamente sottolineato Bernardo Secchi (1984) intorno al 2010, 'le condizioni sono radicalmente cambiate'⁴ e questo cambiamento non è solo spaziale, ma anche temporale, e rimane tale nonostante la mancata validazione ufficiale del termine Antropocene da parte dei geologi.

Il filosofo tedesco Peter Sloterdijk (2024) sottolinea questo spostamento temporale affermando che, nel nostro 'broad present time', il divario tra la nostra comprensione del passato e la capacità di anticipare il futuro ha raggiunto proporzioni intollerabili: dal XIX secolo infatti la nostra indagine retrospettiva si è estesa nel passato per milioni di anni, mentre la visione del futuro non osa avventurarsi oltre qualche decennio. Inoltre, a dispetto dell'impulso modernista a proiettarsi verso un futuro presumibilmente luminoso, oggi stiamo rallentando il nostro impegno verso quell'orizzonte temporale che ci appare sempre più minaccioso: ogni anno che passa aumentano le incertezze, le perdite in termini di vite e di risorse, con ripercussioni certamente per i decenni e persino i secoli a venire.

Per la prima volta si avverte che l'azione pianificata di organizzazione dello spazio e ottimizzazione di consumi e flussi di persone possa portare a qualcosa di diverso dalla massimizzazione dei profitti e benessere. In questa prospettiva la pianificazione guarda con interesse all'intero ecosistema per sviluppare il concetto di 'pianificazione ecologica', termine che sorprendentemente ha raccolto un sostegno trasversale poiché affronta la duplice sfida di gestire efficacemente gli spazi antropizzati e salvaguardare le risorse naturali (Tarlet, 1999) allineandosi con la tesi tecnico-scientifica positivista del XIX secolo secondo cui possiamo pianificare 'strategicamente', ossia delineare sequenze spazio-temporali da un punto di partenza a un obiettivo.

Tuttavia tale pianificazione effettuata su mappe e progetti – dal momento che il termine deriva dal latino 'planus' (piatto, piano, pianura) – pur basandosi su dati climatici, economici e sociali e indirizzi politici relativamente certi viene concepita e attuata con variazioni minime rispetto alle ipotesi iniziali; oggi ci troviamo di fronte a poche ma sicure certezze sulle quali può basarsi la pianificazione ecologica: 1) le temperature medie globali continueranno ad aumentare e, se non si raggiungeranno gli obiettivi di decarbonizzazione del 2050, il limite di +2 °C rispetto all'epoca preindustriale sarà ampiamente superato; 2) le calotte polari e i ghiacciai continueranno a sciogliersi, a un ritmo ancora più rapido di quello previsto sino ad ora, con un innalzamento del livello del mare di circa 60 metri se tutta la calotta glaciale dell'Antartide si scioglierà; 3) i disastri causati dal cambiamento climatico si intensificheranno, con sempre più frequenti ondate di calore, incendi, siccità, piogge persistenti e inondazioni, ponendo sfide senza precedenti alle società, alle comunità ed in particolare agli individui più deboli (Goar, 2024); 4) la biodiversità terrestre e marina si ridurrà ulteriormente per l'aumento delle temperature sia sul mare che sulla terra (Carrington, 2021); 5) aumenteranno le crisi sanitarie simili alla pandemia da Covid-19 con proliferazione e diffusione di virus noti e sconosciuti a causa dello scioglimento dei ghiacciai, della deforestazione, di una maggiore densità dei centri abitati e della antropizzazione della Terra che ci porta sempre più vicino alla fauna e ai loro virus; 6) l'aumento della popolazione causerà migrazioni di massa verso latitudini più ospitali.

Non possiamo che rimanere sbigottiti di fronte alla gravità annunciata di queste calamità imminenti, alla loro interconnessioni e ripercussioni a cascata che sono ancora parzialmente compren-

sibili: in mancanza di urgenti strategie e azioni concrete i modelli dell'IPCC (2023) configurano scenari senza precedenti nella storia dell'umanità, tra cui quelli di una siccità prolungata che possono innescare caotici effetti moltiplicatori su sicurezza alimentare, mobilità, energia, migrazioni e altro ancora. Di conseguenza la 'pianificazione ecologica' è sempre più vincolata a un orizzonte temporale che si avvicina rapidamente a quello attuale, data l'accelerazione del ritmo del cambiamento: parafrasando le parole di Sloterdijk (2024), non possiamo fare un'ipotesi seria e responsabile su come saranno le cose sulla Terra entro la fine del XXI secolo. Purtroppo di questo scenario la stragrande maggioranza della popolazione assume una posizione indifferente nei confronti dei cambiamenti climatici e degli scenari basati su studi statistici.

Prospettiva strategica per superare l'incertezza | Gli effetti a cascata dei cambiamenti climatici trascenderanno i confini nazionali e la società occidentale, fortemente vincolata ai propri standard, incontrerà grande difficoltà nel gestire ciò che è stato giustamente sintetizzato con gli acronimi VUCA (Volatility, Uncertainty, Complexity, Ambiguity) e TUNA (Turbulent, Uncertain, Novel, Ambiguous). Senza uno strumento di proiezione affidabile, come possono le città e le regioni elaborare e attuare politiche concrete? Come può il 'progetto' contribuire alla transizione ecologica modellando spazio e tempo per entità umane e non umane?

È qui che introduciamo un metodo diagnostico su cui basare il processo decisionale da adottare: l'analisi prospettica o previsione strategica. Derivata dalle radici latine 'pro' (avanti) e 'specto', 'spectare' (considerare, osservare, guardare), la prospettiva si riferisce alla presa di coscienza sistematica della crescente incertezza sul futuro, mentre l'aggettivo 'strategico' fornisce gli strumenti per supportare decisori politici e popolazioni nell'adattamento sistemico agli impatti del riscaldamento globale. Rispetto a un 'piano' che delinea un obiettivo specifico frutto del risultato di processi convergenti, creando così un orizzonte 'chiuso', la 'previsione' immagina un orizzonte

'aperto', senza dare per assoluti dati, analisi e raccomandazioni: più che a strumento esecutivo dovrebbe assomigliare a un 'portolano' incompleto, simile a quelli realizzati dagli esploratori del XV e XVI secolo che si avventuravano in continenti per lo più sconosciuti (Fig. 2). La previsione, quindi, delinea i potenziali sviluppi a partire da un presente che è basato su interpretazioni soggettive e proietta verso un futuro enigmatico che trascende l'esperienza attuale.

La 'prospettiva' strategica, invece, basata su un'analisi che si fonde con la serendipità, offre una serie di strumenti tra cui: a) scenari paralleli che identificano comportamenti e interazioni, aiutando a formulare strategie d'azione concrete; b) previsione, che analizzando le probabilità si avvicina al futuro prevedendo traiettorie possibili; c) scansione dell'orizzonte, con la ricerca di segnali minimi di cambiamenti positivi o negativi; d) pianificazione di emergenza, che prepara il processo decisionale in caso di crisi possibili o probabili; e) simulazione di crisi, che desume dalle esperienze passate modalità di azione per superarne di nuove; f) analisi delle tendenze nelle aree STEEP (Social, Technology, Economy, Environment, Policy); g) pianificazione inversa, che stabilisce un obiettivo da raggiungere attraverso la pianificazione a ritroso, rendendolo il metodo più vicino ai moderni principi di pianificazione.

La previsione strategica urbana: alcuni precedenti storici | La 'prospettiva' urbana, come parte della previsione strategica, inizia a suscitare interesse; da un lato si basa su un quadro teorico circoscritto, dall'altro le sue applicazioni rimangono relativamente limitate rispetto ai metodi di pianificazione tradizionali. Tuttavia vale la pena notare che architetti e urbanisti si sono impegnati in esercizi di previsione, come dimostrano i primi CIAM, le mappe e i Piani elaborati da visionari come Le Corbusier e Van Eesteren per la loro Carta, durante il viaggio a bordo della Patris II da Marsiglia ad Atene nel 1933.

Se dovessimo cercare il pioniere della previsione strategica urbana, potremmo individuarlo probabilmente nel concorso del 1910 per la Grande Berlino (Tubbesing, 2018) che ha aperto la

strada allo sviluppo della disciplina urbanistica alle soglie del XX secolo con il suo approccio multilivello e interdisciplinare, in cui gli architetti in gara dovevano considerare contemporaneamente aree edificate, spazi verdi e reti di mobilità, attraverso un'analisi multiscale, dall'architettura al territorio e dal centro alla periferia, e con l'idea di superare i limiti amministrativi e dare coerenza a tutto il territorio con soluzioni integrate. Il termine tedesco 'gross' (più grande) porta con sé il senso della dimensione e della complessità e persiste oggi nella maggior parte dei tentativi di pianificazione delle megalopoli; si trattava di un concorso di idee sulla pianificazione che vide assegnati tre premi, uno dei quali allo schema di Hermann Jansen che ispirò la famosa rappresentazione grafica della Grossstadt di Martin Wagner (Fig. 3).

Un secondo precursore fu il Piano della Greater London che Sir Patrick Abercrombie (1944) e la sua équipe elaborarono nei rifugi sotterranei durante il London Blitz dal 1940 al 1944 (Fig. 4). Mettendo in campo idee e concetti nati negli anni precedenti la guerra nel Regno Unito e in Germania, il Piano espone il concetto di New Towns e offre un'immagine articolata e coordinata di una regione metropolitana, destinata a diventare una megalopoli (Hall, 1973). Un terzo antecedente, che va menzionato per ragioni di precisione storica, è quello del concorso di idee Greater Helsinki 2050, organizzato nel 2007 per esplorare le potenziali configurazioni della principale regione metropolitana finlandese (Ache, 2011).

Infine occorre citare la consultazione internazionale Le Grand Pari(s) de l'Agglomération Parisienne che segna un doppio passaggio nell'evoluzione dell'esplorazione coordinata dei possibili futuri della capitale francese: organizzato nel 2008-2010, da un lato predilige il metodo della consultazione che, contrariamente al metodo del concorso, non privilegia una proposta rispetto alle altre, dall'altro, il suo sottotitolo Analisi Prospettica per la Metropoli post-Kyoto sancisce la svolta definitiva verso le questioni ecologiche, una prima assoluta rispetto alle grandi riflessioni metropolitane (Drevon, 2009).⁵

La consultazione della Greater Geneva | La con-

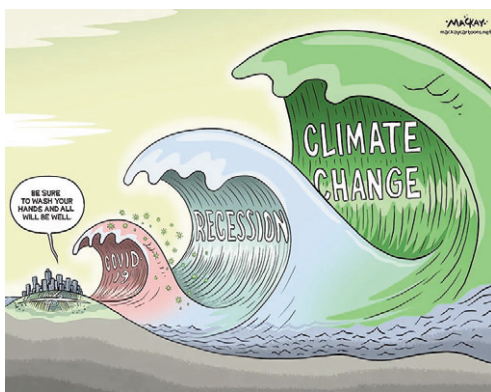


Fig. 1 | Cartoon by Graeme MacKay (credit: G. MacKay | The Artizans, 2020).

Fig. 2 | Atlantic Ocean Atlas (1544), Portolan by Battista Agnese.



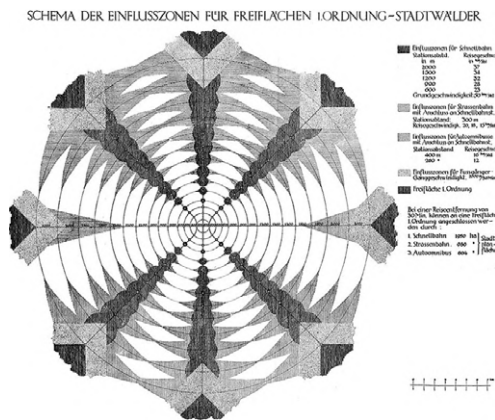


Fig. 3 | Das Sanitäre Grün der Städte (1915) by Martin Wagner.



Fig. 4 | London social and functional analysis (1944) by Patrick Abercrombie and John Henry Forshaw.

sultazione internazionale Prospective Visions for Greater Geneva è stata lanciata nel 2018 grazie all’iniziativa della Fondation Braillard Architectes, in collaborazione con un ampio partenariato pubblico-privato svizzero-francese, con l’obiettivo di stimolare riflessioni ed elaborare previsioni strategiche a servizio dei responsabili politici di questa particolare regione transfrontaliera in un orizzonte temporale al 2050, attraverso progetti architettonici, urbani, paesaggistici e territoriali.

I team interdisciplinari sono stati invitati a elaborare ipotesi di futuro basato su equità e giustizia, nel rispetto di biodiversità e di risorse, per rispondere ai cambiamenti climatici con un approccio resiliente anche rispetto alle questioni socio-economiche. Questi obiettivi sono stati analizzati per lo specifico contesto metropolitano transfrontaliero di Ginevra, attraverso una serie di tematiche su risorse ed energia, reti materiali e immateriali, tradizione e innovazione, metabolismo urbano, benessere e consumo, demografia, mobilità, ecc. In sintesi sono state individuate quattro campi di indagine paralleli che riassumono le aspirazioni degli stakeholder partecipanti⁶:

– Città ed Energia; quali dispositivi possono contribuire a un insediamento alimentato da energia pulita e alla decarbonizzazione? Come si può ridurre il consumo energetico entro il 2050? Quale mix energetico può consentire la decarbonizzazione? In che modo è possibile generare economie di energia e di risorse e come la loro sinergia può generare benefici concreti e divenire simbolo di un nuovo stile di vita?

– Città e Mobilità: come possiamo immaginare una nuova mobilità a servizio degli spazi dove si svolge la vita individuale e collettiva? Come possiamo reinventare uno spazio che non sia vincolato alla mobilità individuale o, al contrario, come possiamo modificare le città per adattare alle sfide del nostro tempo? Quali sono le scale rilevanti di questa nuova mobilità, considerando anche l’importanza e lo status internazionale di Ginevra?

– Città e Natura; com’è possibile valorizzare la complessa rete di servizi, tra cui quelli ecosistemici, tra-

dizionalmente presente nella città-paesaggio della Grande Ginevra? Come mettere in relazione il clima temperato con varietà stagionale, la biodiversità, l’agricoltura, le funzioni simboliche, economiche, sociali locali e internazionali della Città?

– Città e Società; quali forme urbane, qualità dell’habitat e mix di spazi pubblici risponderanno alle aspettative delle popolazioni residenti e in visita e ai futuri cambiamenti sociali? Quale rigenerazione urbana (attraverso interventi di conservazione, trasformazione e ampliamento) potremo operare all’interno dei diversi ambiti costruiti ereditati? Come rafforzare il sentimento di appartenenza all’interno delle molteplici scale della regione della Grande Ginevra?

Sulla base delle dichiarazioni d’intento iniziali sono stati selezionati sette dei quaranta gruppi di lavoro che si sono candidati a sviluppare i campi di indagine proposti, secondo un metodo di lavoro parallelo da parte dei comitati direttivo e scientifico che hanno valutato contemporaneamente le sette ipotesi secondo la filosofia della consultazione, in quanto non ci sarebbe stato un unico vincitore né un unico studio totalmente adeguato allo sviluppo sostenibile del territorio. Ognuna delle sette visioni è stata considerata nella sua interezza rispetto all’emergenza ambientale, costituendo uno specifico scenario che si sviluppa in modo parallelo e trasformando la consultazione in un laboratorio di ricerca progettuale, in cui i progetti incrociano posizioni, ipotesi, schemi, forme e narrazioni a tutte le scale.

I risultati della consultazione della Greater Geneva | Il risultato di questo processo innovativo è stato una previsione strategica della conurbazione transfrontaliera come campo sperimentale in cui gli stili di vita basati sull’attuale consumo di risorse non sono più ecologicamente sostenibili; bisognerà di contro preparare un percorso di transizione con una graduale ed equa limitazione del consumo di risorse, fino a scendere al di sotto della soglia di un Pianeta per rispettare la sua biocapacità di rigenerarsi. Sono state quindi elaborate

sette storie complementari del futuro di Ginevra, frutto di intuizione e creatività, che annunciano una nuova generazione di professionisti della trasformazione dello spazio e propongono spunti a favore di una nuova generazione di politiche territoriali orientate alla transizione.

Con il titolo Of Soil and Toil, il team dell’Habitat Research Center-EPFL⁷ ha cercato di capire come il suolo, matrice materiale fondamentale della vita, possa innescare l’esperienza di una trasformazione sociale radicale – concetto spesso assente dalle visioni della transizione perché associato a questioni economiche e alle disuguaglianze sociali – mettendo il lavoro al centro del paesaggio produttivo di una metropoli ‘orizzontale’, e quindi democratica. La transizione ecologica diviene così un progetto comune e condiviso, le cui espressioni architettoniche e urbane traducono in tre dimensioni le aspirazioni di una società che si rinnova all’interno delle varietà del proprio contesto (Fig. 5).

Il suolo e le sue molteplici funzioni, sia ambientali che sociali, sono state anche al centro della proposta dell’ETHZ – Università del Lussemburgo intitolata Greater Geneva and Its Soil⁸, il cui progetto ha esplorato cinque caratteristiche complementari della città in transizione, strumentali all’obiettivo principale della decarbonizzazione totale entro il 2050. Natura, agricoltura, prossimità, condivisione e circolarità si confrontano con le specifiche qualità spaziali del territorio transfrontaliero, delle infrastrutture, della campagna, dei corsi d’acqua, delle foreste e del confine montuoso facendo emergere insediamenti e relative configurazioni diffuse su tutto il territorio, oltre le aree strettamente urbanizzate. Reti e spazi si fondono per creare luoghi ibridi di nuova densità, ben oltre gli standard della moderna zonizzazione e della sua netta separazione di funzioni, rendendo possibile la transizione, grazie all’unione di forze, risorse ed energie (Fig. 6).

Il progetto dal titolo Metabolizing the Invisibles⁹ ha cercato di ricostruire la città attraverso un’analisi scientifica e un approccio esperienzia-



Fig. 5, 6 | Of Soil and Toil by Habitat Research Center – EPFL: territorial vision of the Greater Geneva; Greater Geneva and Its Soil by ETHZ – University of Luxembourg: the fringes of city and country.

le delle reti tecnologiche, elettriche e idriche interrate. L'ipotesi iniziale si fonda sulla possibilità di intervenire sull'ampia dimensione delle aree delle reti non sufficientemente utilizzate nell'ottica di massimizzare l'utilizzo dello spazio urbano nella lotta al riscaldamento globale. Metaforicamente l'intera città può essere vista come un'infrastruttura o, meglio ancora, come risorsa per costruire un sistema integrato di decarbonizzazione. Con un ribaltamento semantico è possibile concepire queste reti 'invisibili' come una sorta di sovrastruttura simbolica, una vera e propria forma estetica la cui rappresentazione critica, restituita da una 'architettura delle infrastrutture', sia in grado di esprimere le aspirazioni di una società radicalmente rinnovata (Fig. 7).

Il gruppo di lavoro Resource Realms¹⁰ ha proposto un mosaico infrastrutturale di risorse diversificate (inerti, organiche e umane) del territorio alle sue diverse microscale. La loro attivazione attraverso l'elaborazione, la cooperazione e la condivisione rivela la forma quasi molecolare della regione, in cui ogni parte può disporre di relativa autonomia, mentre l'insieme opera come organismo complesso in grado di sfruttare al massimo le condizioni dell'area urbana esistenti, senza ricorrere a nuove costruzioni o ampliamenti, rispettando l'integrità dello spazio naturale circostante. La sostenibilità diviene così un progetto basato principalmente sulla comunità (Fig. 8).

Il progetto Metropolitan Constellation¹¹ immagina l'evoluzione della Grande Ginevra adottando scienza e tecnologia su larga scala. La prospettiva della costruzione da parte del CERN di un nuovo acceleratore di particelle con un perimetro di cento chilometri ha permesso al team di immaginare di impiegare l'energia sovrapprodotta per fornire elettricità a una metropoli che si sviluppa sull'anello dell'acceleratore. L'agglomerato si estende così

lungo una direttrice ben definita ed energeticamente autonoma, intorno a una sorta di parco territoriale centrale il cui centro è occupato dal rilievo della Salève. Questo parco centrale e l'abitato al suo perimetro costituiscono, attraverso una chiara distribuzione territoriale, la base per un senso di appartenenza della popolazione a un habitat comprensibile, riconoscibile e vitale (Fig. 9).

Il progetto Energy Landscapes¹² considera la Grande Ginevra uno spazio composto da natura, esseri umani, beni e servizi strutturato su risorse e reti energetiche complesse. Il suo futuro ecologico è possibile solo attraverso una radicale riconsiderazione degli input e degli output, dove il consumo dell'uomo deve essere riorientato, modificato e moderato. L'immagine dell'aeroporto di Ginevra trasformato in un gigantesco esperimento agro-ecologico rimane uno dei momenti più suggestivi della consultazione (Fig. 10).

Infine il team The Great Crossing¹³ ha prefigurato uno sviluppo basato sulle energie profuse dal genere umano per plasmare costantemente il territorio e sulla sua capacità di elaborare e mettere in atto un progetto di transizione ecologica. Il team ha esplorato il territorio per scoprire la potenzialità di innumerevoli microprogetti per attuare l'auspicata transizione, coinvolgendo residenti, stakeholder ed esperti secondo protocolli di interscambio puntuali ma 'aperti'. Le risorse locali si sono dimostrate tutt'altro che passive in questo progetto, rivelando capacità trasformatrice e creative (Fig. 11).

Quasi dieci anni dopo la consultazione pionieristica della Greater Paris, il caso Ginevra rivela la volontà e la disponibilità di architetti e urbanisti ad affrontare questioni che fino a quel momento erano state a malapena alla loro portata e capacità. Le strategie di decarbonizzazione e resilienza si sono quindi rivelate, in certa misura, un tema di progettazione del territorio: soluzioni intelligenti che

mettono insieme infrastrutture, progetti trans-scalari e dinamiche sociali sono effettivamente possibili, nella misura in cui le parti interessate sono pronte a seguire percorsi alternativi. In conclusione questa esperienza arricchita ha sperimentato una 'modalità educativa collettiva' e la consultazione ha elaborato agende comuni e indirizzi per nuove politiche 'visionarie' che sono attualmente in elaborazione in questo territorio eccezionale. Il prossimo passo sarà capire se e come le discipline progettuali possono misurare gli effetti delle loro 'visioni' in termini di risorse naturali e impegno umano.

Da Geneva a Luxembourg: salto di scala e metodologie di lavoro | Nel caso della regione transfrontaliera del Lussemburgo, le pratiche 'visionarie' e le capacità organizzative della Fondation Brillard Architectes hanno fatto tesoro dell'esperienza di Ginevra per fare un salto di qualità in termini di scala, metodologia e precisione.

La consultazione internazionale Lussemburgo in Transizione (LiT), come è stata ufficialmente denominata, rappresenta una svolta in termini di metodologia, portata e risultati nello sviluppo della previsione urbana¹⁴ in quanto la consultazione è stata impostata per formulare 'visioni' più informate e avanzate per l'organizzazione futura delle aree e dei territori urbani, spaziando dalla scala regionale a quella dei singoli edifici. Tuttavia i termini 'informato' e 'avanzato' si riferiscono all'interpretazione che il direttore scientifico dà dello Zeitgeist politico, economico, sociale, scientifico e culturale, caratterizzando il bando (attraverso dati, ipotesi e quesiti) che diviene strumento per indirizzare le 'visioni' dei team partecipanti.

La consultazione LiT è stata lanciata e condotta dal dicembre 2019 al gennaio 2022 in un periodo di negativa esperienza collettiva, la pande-

mia da Covid-19, che ha sollecitato riconsiderazioni sul nostro stile di vita e sulle modalità di azione delle società avanzate. I conflitti tra evidenza e proiezione scientifica, accettazione e rifiuto sociale, leadership politica e opportunismo hanno consentito di elaborare nuovi concetti e metodologie per realizzare obiettivi prima non privilegiati: decarbonizzazione e resilienza del costruito sono diventati obiettivi consolidati e condivisi della transizione ecologica come mai in passato.

Nonostante la somiglianza con la Grande Ginevra in termini di carattere internazionale, centralità assoluta e capacità finanziarie, il caso di Lussemburgo abbraccia un perimetro molto più ampio, estendendosi fino ai suoi confini esterni con le regioni francesi, tedesche e belghe: rispetto ai 1.996 chilometri quadrati e al milione di abitanti della Grande Ginevra, l'area funzionale transfrontaliera del Lussemburgo si estende per circa 11.000 chilometri quadrati con una popolazione di circa 1,8 milioni di abitanti.

Sebbene abbia una densità molto bassa di circa 10 persone lavorativamente attive per Comune, il Lussemburgo si caratterizza per un dinamismo economico che lo colloca subito dopo Monaco e Liechtenstein in termini di PIL pro capite a livello mondiale¹⁵. La sua ricchezza, basata principalmente sui mercati finanziari, potrebbe essere a rischio per la bassa sua capacità di resistere a lungo agli impatti del cambiamento climatico; infatti il Lussemburgo si colloca subito dopo il Qatar in termini di impronta antropica pro capite sull'ecosistema, con una stima di 10,96 giga-ettari per persona all'anno (2022).¹⁶

Per la prima volta nello sviluppo della metodologia della consultazione, la previsione strategica doveva essere più di una semplice raccolta di 'visioni' nell'ottica della transizione ecologica, come accaduto per la consultazione della Grande Parigi e della Grande Ginevra, basandosi sulla consapevolezza collettiva della necessità di riprogettare radicalmente i nostri spazi urbani, che sono la cau-

sa, l'effetto e probabilmente la soluzione dell'emergenza ambientale. Inoltre grazie alla competenza dello staff del Ministro dell'Energia e della Pianificazione è stato messo a punto un processo di selezione in tre fasi: la prima fase ha selezionato dieci team, sulla base di una dichiarazione di intenti e di adeguate competenze interdisciplinari; nella seconda fase ne sono stati selezionati sei, sulla base delle analisi sulle criticità ambientali rilevate in Lussemburgo; infine quattro sono stati ammessi all'ultima fase, sulla base delle 'visioni' prospettiche su larga scala. I quattro finalisti hanno poi sviluppato progetti, immaginandone l'evoluzione nel tempo, su specifici luoghi all'interno dei confini nazionali del Lussemburgo.

La prima fase mirava a stabilire una nuova generazione di metriche di transizione, poiché i risultati delle consultazioni di Parigi e di Ginevra avevano mostrato che, nonostante il notevole approfondimento, la previsione strategica per la transizione ecologica di città e regioni rimaneva troppo descrittiva, dichiarativa e qualitativa: nelle precedenti esperienze l'approccio multiscalare verso il futuro desiderato non si basava sulla definizione di obiettivi quantitativi e non conteneva metodologie di valutazione delle trasformazioni proposte. Per dirlo senza mezzi termini, rimaneva il timore che i progetti che vantavano qualità 'ecologiche' non si discostassero molto dal 'business as usual' dell'architettura e della pianificazione e, come per le esperienze precedenti, non riuscissero a rendere verificabili gli esiti delle strategie di trasformazione dell'ambiente con gli obiettivi della transizione ecologica.

Concentrandosi principalmente sul risultato e non sufficientemente sul processo necessario per raggiungerlo, le consultazioni precedenti avevano fornito pochi indicatori chiave per la gestione del processo di transizione e criteri insufficienti per responsabilizzare degli stakeholder. Di contro l'innovazione metodologica del LiT, con la ricerca di una nuova generazione di metriche, riesce a col-

legare la progettazione regionale, urbana, paesaggistica e architettonica ai processi 'a zero emissioni di carbonio' in adeguate sequenze spaziotemporali, rafforzando il carattere interdisciplinare del processo, tra architettura, urbanistica, architettura del paesaggio, economia, sociologia, antropologia, statistica, demografia, agrobiologia, ecc., già presente nelle consultazioni precedenti.

I dieci progetti di programmazione strategica in Lussemburgo

Il progetto dal titolo *A Vision for Luxembourg-Europe – Earth*¹⁷ ha affrontato la sfida metrica con un approccio a tre scenari: 1) lo scenario 'dalla culla alla culla' segue una curva di decarbonizzazione la cui forma rivela una diminuzione non costante tra il 2019 e il 2050 e non mette in discussione l'attuale modello socio-economico, ma immagina di attuare la transizione sulla base di innovazione e tecnologia, guidate dalla ricerca e implementate dall'industria; 2) lo scenario della 'decrescita', che prevede una riduzione immediata dei consumi, si dimostra più efficace degli altri due nel breve periodo con maggiore riduzione delle emissioni nei primi 15 anni, mentre dopo il 2035 la riduzione non dovrà essere così ampia perché beneficia da quella precedente; 3) lo scenario della 'deep ecology', fondato su una consapevolezza collettiva dell'urgenza della transizione, spinge le autorità ad attuare politiche tassative sia per il settore privato che per gli stili di vita individuali, con conseguente variazione dei valori di mercato e valorizzazione dell'intero ecosistema in luogo dell'antropocentrismo dominante (Fig. 12).

La strategia proposta dal team *Metabolising the Territory's Networks*¹⁸ si caratterizza per la presenza di reti 'dure' e 'morbide', esistenti e future, la cui complessità condiziona qualsiasi forma di sviluppo e può regolare una nuova filosofia di pianificazione. Rispetto alla richiesta di individuare una metrica di transizione, il team non dà priorità all'indicatore delle emissioni di CO₂ e punta su una

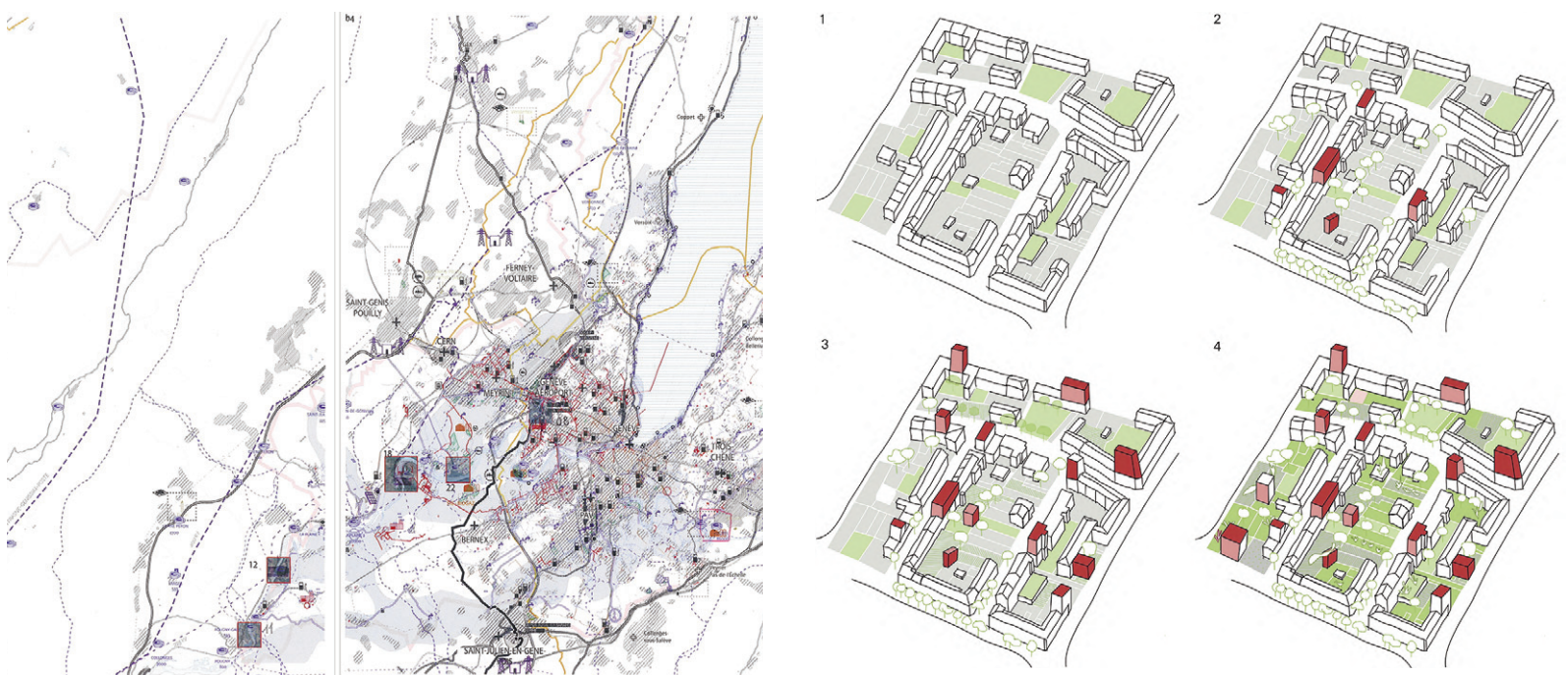


Fig. 7, 8 | *Metabolizing the Invisibles* by the Agency for Territorial Reconfiguration – AWP (Paris): the map of visible and invisible networks of Greater Geneva; Resource Realms by Atelier Akaar (Geneva), Sofies (Geneva), 6t mobilités (Paris): neighbourhood reconfiguration.

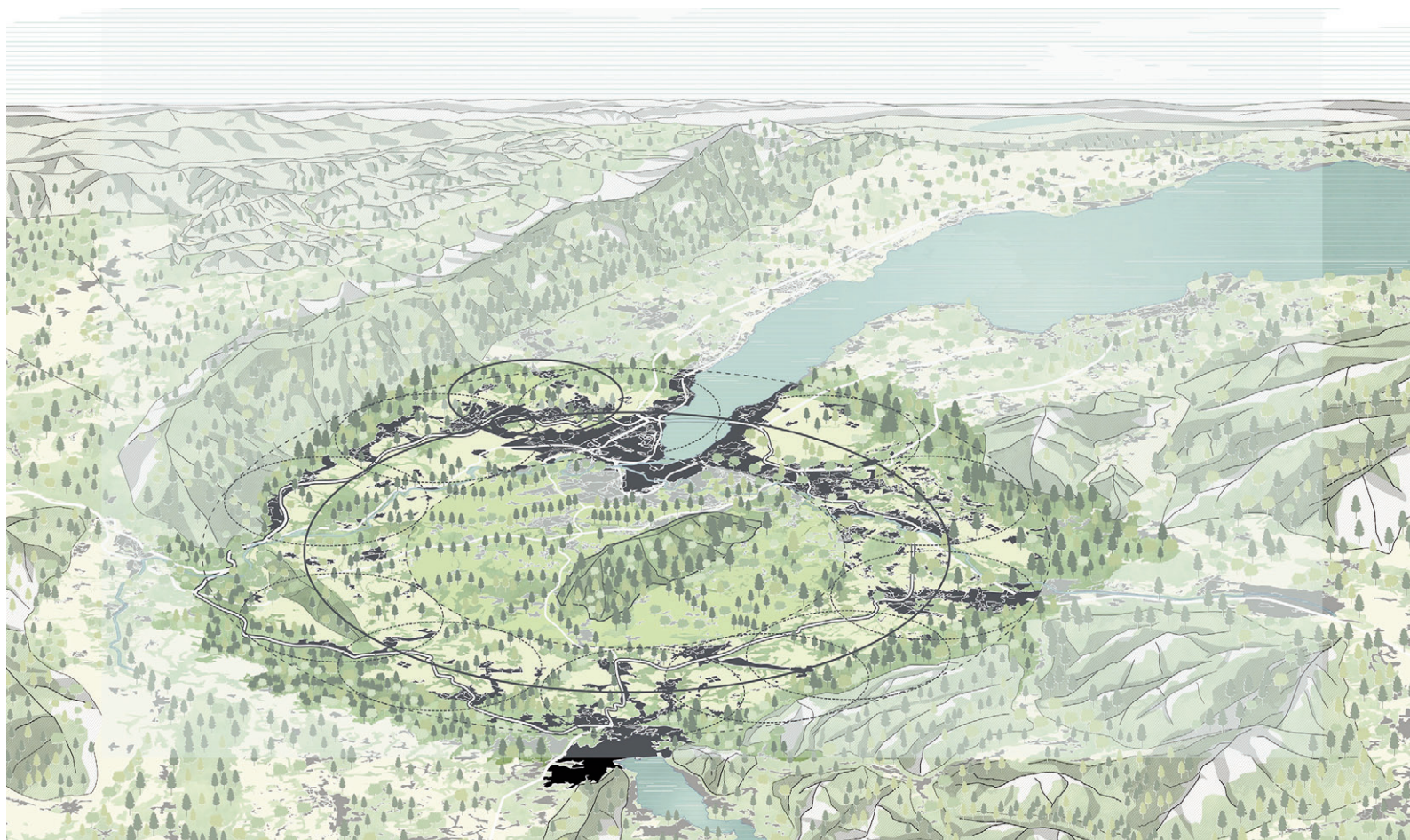


Fig. 9 | Metropolitan Constellation by Stefano Boeri Architetti (Milan), Michel Desvigne Paysagiste (Paris), Baukuh (Milan), Bollinger & Grohmann (Milan), and Systematica (Milan): The Greater Geneva as a metropolitan region along the future CERN particle accelerator.

combinazione di indicatori operativi, legali, tecnici e sociali volti a creare dimostratori sperimentali all'interno di un quadro strategico globale. Il team ritiene che il cospicuo consumo di energia del Paese basato sui combustibili fossili sia la causa principale della sua rilevante impronta antropica sull'ecosistema, causata prevalentemente dall'aumento delle emissioni di CO₂ dei trasporti stradali e aerei, i cui volumi non sono correlati alla popolazione; se il fenomeno attuale dovesse persistere, il cambiamento climatico aggraverà una condizione ambientale già negativa e avrà conseguenze disastrose sul percorso di transizione (Fig. 13).

La proposta Luxeurope 2050 – The Grand-Duchy in Transition¹⁹ ritiene che il rispetto dell'Accordo di Parigi (ONU, 2015) per mantenere l'aumento della temperatura al di sotto dei 2 °C richieda il raggiungimento della neutralità climatica entro la metà del secolo e che debba andare di pari passo con profonde e radicali trasformazioni socio-tecniche. Il progetto si concentra su una serie di obiettivi quali: un nuovo modello di partecipazione dei cittadini, la creazione di sinergie transfrontaliere, un rinnovato senso di appartenenza al territorio e un modello di economia basato sulla circolarità. Essendo il Lussemburgo un Paese fortemente dipendente dalle regioni limitrofe, sia in termini di risorse materiali che umane, come suggerisce il termine 'regione funzionale transfrontaliera', la sua strategia di transizione non può che essere concepita su questa scala (Fig. 14).

Nella proposta Energyscapes – Escape from the Petroscape²⁰, basata sul 'bioantropocentri-

simo' di Reyner Banham (1971) e Jakob Johann von Uexküll (1909) a favore della salute della biosfera, il team prende atto dell'entità dei necessari cambiamenti da attuare e della molteplicità degli stakeholders coinvolti per raggiungere la neutralità del carbonio entro il 2050, organizzando, in ogni fase di attuazione, la transizione energetica nei settori della mobilità e dell'edilizia. Parallelamente il team rileva l'urgente necessità di fornire a questo sistema complesso resilienza in relazione ad eventi calamitosi sempre più frequenti e violenti, attraverso una varietà di pratiche e di funzioni (Fig. 15).

Il progetto Everyday Metrics – Materials and Coalitions for Construction and Food²¹ ha presentato una suggestiva prospettiva storica dal 1960 al 2050 sulle quantità di CO₂ prodotte e sulle loro dinamiche evolutive nella regione funzionale. Per testare i principi della metrica individuata e capire come calcolare l'impronta dei progetti di trasformazione territoriale, il team ha messo a punto una simulazione basata su una serie di campioni (alimenti e materiali da costruzione) rappresentativi della produzione e del consumo e di luoghi nodali della vita quotidiana nel Granducato, realizzando una sorta di inventario e misurandone l'equivalente in CO₂ per abitante e anno; all'interno dell'inventario sono presenti esempi di alta emissione di gas serra (allevamento di bovini, per la produzione di latte e carne; produzione di calcestruzzi, con estrazione di sabbia e cemento) e di alta capacità di stoccaggio della CO₂ (legno).

Connettere luoghi di produzione e consumo di questi campioni consente di riunire le dimen-

sioni spaziali e temporali, in un progetto di 'coalescenza di risorse' che permette di accelerare la decarbonizzazione, attraverso cinque 'stagioni', ovvero scenari localizzati in specifiche aree del Lussemburgo, che consentono alternativamente la policoltura, la silvo-pastorizia, l'agroforestazione e l'agricoltura urbana, la cui integrazione spaziale e funzionale le trasforma in 'infrastrutture di sussistenza' pilota (Fig. 16).

Il team di Amsterdam / Zurigo ha adottato il titolo generale della consultazione²² per impostare un'analisi preliminare basata su uno schema concettuale tridimensionale che mette insieme tempo (2020-2050), contesto (sei zone di Lussemburgo: centralità, scambio transnazionale, politiche dell'Unione Europea / congiuntura Covid, resilienza) e domini (mobilità, logistica, edifici, occupazione industriale, flussi di materiali, agricoltura / paesaggio / natura). Le diverse combinazioni di un loro uso congiunto offrono diversi strumenti d'azione che possono essere utilizzati in modo coordinato per massimizzare gli effetti e raggiungere più velocemente gli obiettivi della transizione ecologica. Nella seconda fase il team si concentra sul tema della logistica, il cui ruolo nella decarbonizzazione è di primaria importanza, proponendo una serie di scenari per lo sviluppo transitorio di alcuni settori preponderanti, articolati in sequenze temporali in base all'attuazione di politiche, opportunità ed emergenze (Fig. 17).

Il progetto Soil and People²³ introduce l'originale 'visione' di una 'regione transfrontaliera bio-funzionale', basata sui bacini idrici naturali del

Lussemburgo. La sua elaborazione presenta una lettura diversa del territorio transfrontaliero su cui il team applica lo scenario 1,5 Life dello studio dell'Unione Europea A Clean Planet for All (European Commission, 2018), per raggiungere la neutralità del carbonio entro il 2050, identificando tre tipologie di metriche: 1) metriche di azione, per misurare l'impatto quantificabile delle singole azioni e della società civile; 2) metriche di accelerazione, per allineare le iniziative e amplificare la portata delle azioni che coinvolgono imprese, società civile e governi; 3) metriche di valutazione, per ridefinire crescita e sviluppo, rivolte principalmente alla governance. La loro combinazione consente una valutazione strategica delle misure su particolari settori chiave della regione transfrontaliera, con l'obiettivo di una società a zero emissioni entro il 2050.

Il secondo Report del team presenta per il territorio funzionale del Lussemburgo una strategia di decarbonizzazione 'quantificabile' che può essere attuata solo se basata su azioni coordinate e accompagnate da iniziative di educazione e sensibilizzazione dell'utente. Transizioni chiave possono essere ad esempio la limitazione dell'espansione con una cintura verde, l'aumento degli orti produttivi comunitari e l'introduzione di tipologie edilizie ibride. Nel suo terzo e ultimo Rapporto il team propone un 'fully integrated toolbox' composto da: a) acceleratori per l'uso sostenibile del territorio; b) trasferibilità dei diritti edificatori (Transferable Development Rights – TDR; Fig. 18); c) sviluppo con zero emissioni di CO₂; d) percorsi per indirizzare comportamenti dietetici sani; e) pratiche di carbon farming; f) rimboschimento.

Il progetto Capital Landscape²⁴ ha presenta-

to il suo scenario di previsione strategica basato sull'obiettivo dell'Unione Europea di ridurre del 55% le emissioni di gas serra entro il 2030 (European Commission, 2018) e sulla dichiarazione delle Nazioni Unite di uno 'stato di emergenza climatica' (WMO, 2023). Questo scenario, basato sull'azione, è presentato come radicalmente diverso da precedenti pratiche condotte su scala lussemburghese, come ad esempio lo studio di Jeremy Rifkin (2011) per il governo lussemburghese basato sulla Terza Rivoluzione Industriale; l'obiettivo in questo caso è ridurre i tempi delle fasi di 'analisi, progettazione, raccomandazioni, validazione, implementazione' e incrementare la rapidità con cui i progetti dimostrativi vengono implementati e scalati. Il tempo appare, quindi, di importanza strategica e si articola come segue: il 2021 è stato l'anno del cambio delle destinazioni d'uso; tra il 2022 e il 2025 si modificherà l'apparato produttivo; tra il 2026-2030 si attiverà la ricostruzione strutturale.

Nel secondo Report per la regione funzionale il team riconcilia l'ambito urbano, la campagna e i diversi settori dell'economia lungo quattro assi di mobilità decarbonizzata, agrourbanesimo, rinnovato rapporto simbiotico con la vegetazione e consumo di suolo zero, mentre nel terzo e ultimo Report il team illustra lo sviluppo per fasi di alcuni siti dimostrativi che utilizzano il 'fully integrated toolbox' per attuare la transizione ecologica nelle aree metropolitane (Fig. 19).

Anche lo studio Beyond Lux(e)²⁵ si basa su una analisi a livelli (Fig. 20), prendendo in esame fattori naturali, economici, tecnici, sociali e culturali, prevedendo una graduale eliminazione delle pratiche consolidate e l'introduzione di alternative emer-

genti. Il progetto introduce nove fasi per la transizione ecologica dell'area funzionale transfrontaliera: 1) fissare obiettivi rigenerativi; 2) misurare la distanza dagli obiettivi; 3) elencare strumenti e azioni; 4) mettere a punto metriche di rigenerazione; 5) introdurre la progettazione integrata; 6) tracciare la curva di transizione; 7) programmare fino al 2050; 8) esportare modelli di rigenerazione; 9) individuare progetti strategici.

Mentre nel secondo Rapporto il team delinea il processo Verso l'Ecotopia lungo cinque temi paralleli (cibo, energia, acqua, mobilità e rifiuti) da attuare attraverso metodologie iterative – e non più lineari – di intensificazione, rinnovamento / trasformazione e riallestimento dell'ambiente costruito della regione funzionale, nel terzo e ultimo Rapporto, nel caso dell'asse urbano Arlon-Bettendorf, illustra alla scala del dettaglio gli interventi discreti, efficienti e rispettosi dell'utente / ambiente sulle risorse naturali e artificiali.

Basato invece sul concetto di 'sufficienza in quattro principi' di Wolfgang Sachs (meno velocità, meno distanza, meno disordine, meno mercato), il progetto Prospects for a Regenerative City-Landscape²⁶ propone un programma di interventi volti alla riduzione dell'impronta di carbonio pro-capite da 13,2 a 1,6 tonnellate di CO₂ equivalente per persona e per anno. Le prime misure di decarbonizzazione riguardano i comportamenti individuali (alimentazione e mobilità), a cui seguiranno cambiamenti strutturali e più incisivi nella pianificazione, nell'edilizia, nella produzione e nel consumo; seguirà infine una fase di ottimizzazione al termine della quale la maggior parte degli impatti deriverà solo dai bisogni essenziali, ossia l'abitazione e il cibo.



Fig. 10 | Energy Landscapes by Studio Raum 404: the Geneva airport revisited.

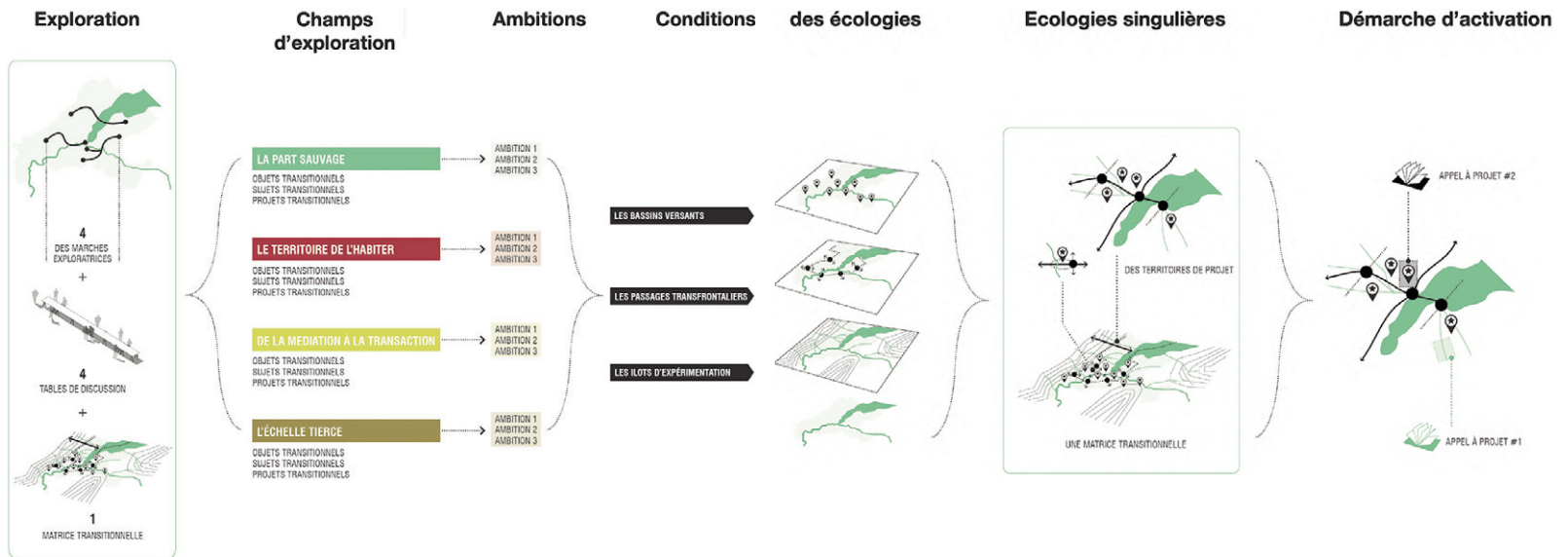


Fig. 11 | The Great Crossing by Interland (Lyon), INterland, Bazar urbain (Grenoble), Contrepoint projets urbains (Lausanne), Coloco (Paris), Coopérative Equilibre (Geneva), and Ecole Urbaine de Lyon: the three conditions of the singular ecology.

Nel secondo Report il team si concentra sulla traslazione delle metriche e delle strategie, inizialmente concepite con una portata olistica, in ambiti spaziali in sequenza e secondo una tempistica di attuazione realistica e con l'auspicio dell'empowerment civico. Poiché la transizione, come ogni cambiamento di rotta, si materializza in luoghi in cui si possano sviluppare attività ed economie alternative, il team propone nuove pratiche 'post-fossili' basate su workshop e narrazioni capaci di coinvolgere i cittadini in una progettazione collaborativa e quotidiana del processo di transizione di tutta l'area funzionale, che viene definita come un 'Archipelago 1.6TCO₂ – A low carbon and resilient city-landscape, of more sufficient and equal urban islands embedded in a productive, colourful, ecological landscape co-inhabited by all living things'.

Nel terzo e ultimo Report il team verifica le metriche e il quadro concettuale concentrandosi sulla 'rigenerazione' delle zone commerciali periurbane, la cui superficie totale è pari a quella della Città di Lussemburgo, mostrando come sia possibile raggiungere nello spirito del consumo zero di suolo la crescita demografica del Paese, sostituendo al carattere monofunzionale del centro commerciale poco sfruttato di Foetz un luogo urbano fiorente, senza impattare i fragili paesaggi naturali (Fig. 21).

Riflessioni sulle consultazioni della previsione strategica | Certamente il resoconto delle consultazioni di Ginevra e Lussemburgo non rende giustizia alle numerose ore di lavoro, alle migliaia di pagine scritte, alla complessità delle metriche elaborate e al fertile materiale grafico prodotto dagli attori impegnati nell'innovazione di questi ecosistemi, non rivela nemmeno l'appassionata avventura 'collettiva' che il sottoscritto ha avuto l'immenso privilegio di guidare. Pertanto è da chiedersi, dopo questa esperienza quale sarà il ruolo dell'architettura, dell'urbanistica, dell'architettura del paesaggio e della pianificazione nel futuro delle città e delle regioni?

Una caratteristica comune a tutti gli attori del processo è il loro attivo coinvolgimento a delinea-

re un nuovo modello del costruito, mentre un filo conduttore delle loro 'visioni' è la continuità dalla scala territoriale a quella del singolo edificio, in osservanza della teoria del Gesamtkunstwerk che ha ispirato il modernismo nella forte convinzione che la pianificazione ha rilevante ruolo di coordinamento; infine l'esperienza ha confermato la capacità dell'architettura di 'restituire' una quantità sempre maggiore di dati in concetti, schemi e forme che prefigurano 'visioni' per una migliore vita comunitaria. Tuttavia, in un momento in cui le forze anti-ambientaliste in Europa e altrove si fanno sentire e la crisi ambientale non fa che aggravarsi, questi elementi sono sufficienti a che l'architettura, l'urbanistica, l'architettura del paesaggio e la pianificazione regionale mantengano un ruolo attivo nella trasformazione dello spazio?

Certamente tutti i partecipanti alle consultazioni hanno esplorato possibili traiettorie di ricerca che pur non essendo completa, consente di far capire che le teorie su funzioni, tecniche, economia, socialità ed estetica del progetto territoriale così come le abbiamo conosciute per un secolo non sono più accettabili. Le risorse assumono oggi un ruolo centrale, la narrazione dell'architettura – in tutte le sue scale – come arte umanista viene messa seriamente in discussione, mentre si costruisce gradualmente un nuovo quadro concettuale che senza dubbio smantellerà alcuni paradigmi filosofici e antropologici consolidati, soprattutto quello di un'architettura che si pone la missione di riequilibrare gli ecosistemi sulla Terra sfruttata dagli eccessi dell'umanità.

Di fatto le discipline moderne sono state condizionate da uno sviluppo senza precedenti basato sulle energie dei combustibili fossili, e ancora oggi, tanto nella teoria quanto nella pratica professionale, le modalità di esercizio sono fortemente dipendenti da questo stesso sviluppo, da qui la difficoltà di esprimere capacità creative indipendenti dalla disponibilità di energia. Risulta difficile trovare un compromesso tra istanze contraddittorie in un unico progetto, ancora più difficile se dobbiamo mirare a uno 'sviluppo armonioso per tutti': in altri termini c'è ancora molta ricerca da fare su 'come tracciare una linea ecologica' (Mantziaras,

2022); in tal senso le consultazioni hanno dato vita a laboratori in cui si è discusso di tali questioni, elaborando proto-sistemi concettuali che, si spera, eserciteranno negli anni avvenire un'influenza sulla attività edilizia.

Indubbiamente la comprensione dell'ambiente costruito è cambiata in modo significativo nei 110 anni trascorsi tra il concorso di Berlino e la consultazione di Lussemburgo nonostante tra pianificazione e previsione persistano le due costanti fondamentali del progetto a più scale spaziali e dell'uso della rappresentazione grafica, costanti che garantiscono il potenziale euristico delle discipline legate al progetto urbano. Considerato poi il potenziale offerto dai nuovi strumenti digitali e persino dall'informatica quantistica nella rappresentazione di relazioni spazio-temporali dinamiche, siamo di fronte a una nuova era d'avanguardia? È possibile, ma cerchiamo di dissipare ogni equivoco; le città, con poche eccezioni, rimangono responsabili con le loro costruzioni, trasporti e servizi di un quarto delle emissioni di gas serra e gli stili di vita urbana incidono in modo significativo con una impronta media di undici tonnellate di carbonio equivalente per persona in Europa.

Inoltre alluvioni e siccità, sempre più frequenti, ci ricordano che le aree urbane affrontano giornalmente gli effetti del riscaldamento globale, minando la disponibilità di risorse vitali che, insieme a eccezionali eventi migratori, pandemie e disordini sociali, generano un mix instabile di minacce (Malm, 2018) per la resilienza di quei servizi, come l'assistenza sanitaria, l'istruzione e l'occupazione, essenziali alla nostra sopravvivenza. Al posto dei tradizionali Piani, e di fronte a questi imprevedibili eventi e calamità, il nostro ruolo è quello di configurare scenari d'azione che permettano la vita sulla Terra in condizioni di sostenibilità, uguaglianza e benessere, attraverso la previsione strategica che assume il ruolo di meta-disciplina per pensare, disegnare e raccontare molteplici futuri, non necessariamente ottimistici.

Obiettivo della previsione urbana è riuscire a immaginare una modalità realistica di interazione tra la biosfera, l'ambiente e le azioni delle persone; il raggiungimento di questo obiettivo richiede uno

sforzo corale: gli scienziati hanno il compito di fornire dati e modelli che restituiscano la gravità dell'emergenza climatica, architetti e urbanisti hanno la responsabilità di progettare sistemi in grado di evolversi e adattarsi continuamente ai cambiamenti ed è infine compito della politica convincere i cittadini ad adeguarsi in questo nuovo 'territorio inesplorato' (Harvey, 2022).

The international consultations for Geneva and Luxembourg were designed and managed in different contexts, although they share common traits concerning their regional cross-border character. The general context is that of the environmental emergency affecting the entire Planet, recognised by French astrophysicist Aurélien Barrau (2019) as humanity's greatest challenge requiring a coordinated, collaborative, interdisciplinary, multi-stakeholder effort. The goal is to move away from the current development model based on land consumption to a more conscious, balanced society that respects all beings that are part of the ecosystem. As scientific knowledge consolidates and we better understand reality, the complexity of this systemic challenge increases.

The initial scepticism on the effects of climate change that characterised the first decade of the new millennium has slowly given way to a 'political' realisation of the 'existential threat to humanity', as repeatedly emphasised by UN Secretary-General Xavier Guterres, especially following the publication of the IPCC's Sixth Report on 20 March 2023



- villes/villages et quartiers urbains, nouvelles micro centralités et densification fine des crêtes*
- villes/villages en fonds de vallée, adaptés à la «transparence hydraulique»*
- grandes figures territoriales*

Fig. 12 | A Vision for Luxembourg-Europe – Earth by Studio Viganò (Milan), Habitat Research Center/EPFL (Lausanne), Centre de Recherche et d'Etudes pour l'Action Territoriale – Université Catholique de Louvain, Metabolism of Cities (Brussels), and Idea Strategische&Economic Consulting NV (Brussels): spatial distribution of the human and natural ecosystems in the transborder area, according to the deep ecology model.

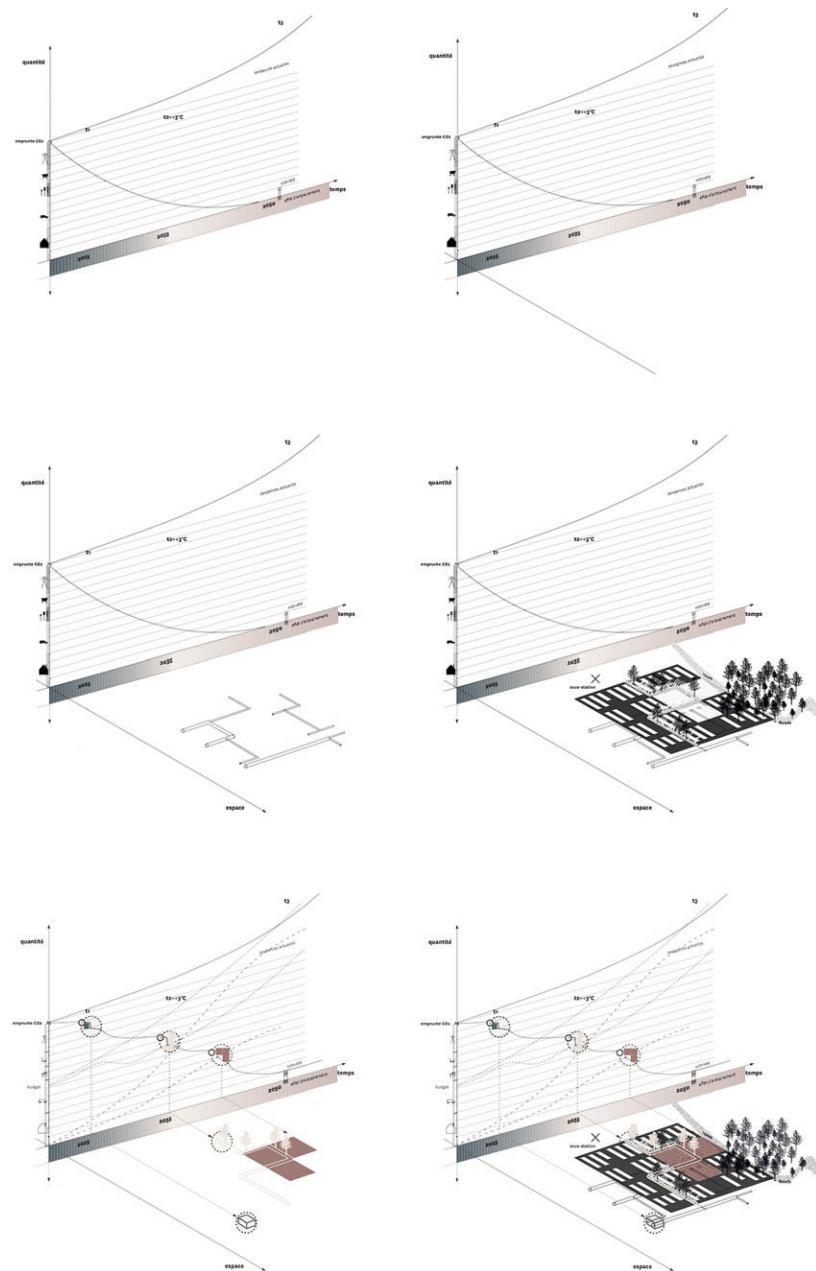
Fig. 13 | Metabolising the Territory's Networks by the Agence de Reconfiguration Territoriale – AWP (Paris), One Architecture (New York), and Arcadis (Paris): types and quantities of spatial typologies upon the decarbonisation strategy.

(IPCC, 2023). Concurrently, discussions about greenhouse gas emissions – whether individual, collective, user- and product-based, etc. – are gaining prominence in our collective awareness.

However, these advances in awareness have not effectively mitigated the impacts of an irreversible nature on the balance of the biosphere. In this regard, a subgroup of the Stratigraphy Commission of the International Union of Geological Sciences (IUGS; Subramanian, 2019) has argued over the past fifteen years, through scientific evidence, that human activity has been the main cause of this negative impact on the planet Earth. The term 'epoch', in the geologists' jargon, describes a period typically lasting a few million years, much shorter than a geological 'period' such as the Jurassic, which lasted 54 million years, or an 'era' such as the Mesozoic, which lasted 186 million years. Therefore, we cannot accept the term Anthropocene as referring to an epoch. Although various sciences welcomed this term, the IUGS decided in February 2024 not to 'confirm' it, ratifying the decision on 20 March 2024. Given the high stakes (Brion, 2023; Zhong, 2024)¹, the dates are significant; therefore, we are still trapped in the Holocene period.

Based on this decision, the scientific community is losing an opportunity to send a strong message to all those who deal with matter, energy and people regardless of the global consequences of their actions, which are literally 'over-acting' locally and 'under-thinking' globally: namely, that anthropogenic action is becoming detrimental to life on Earth, with a boomerang effect on our well-being and ultimately our survival. The indiscriminate extraction of raw materials, their chemical processing, the production and consumption of energy from fossil fuels, the overabundance of waste, and an ever-growing population, which – considering domestic animals – accounts for 97% of all vertebrates, foreshadow a bleak future for biological life on Earth.

In this perspective, if the goal of disciplines related to the modification of space – such as architecture, urbanism, landscape architecture and regional planning – was initially 'to protect man from nature', as depicted in the Vitruvian notion of the hut, today the goal must be 'to protect nature from mankind'. Despite criticism by French anthropologist Philippe Descola (2014) to the idea of an opposition between nature and culture, there is a con-



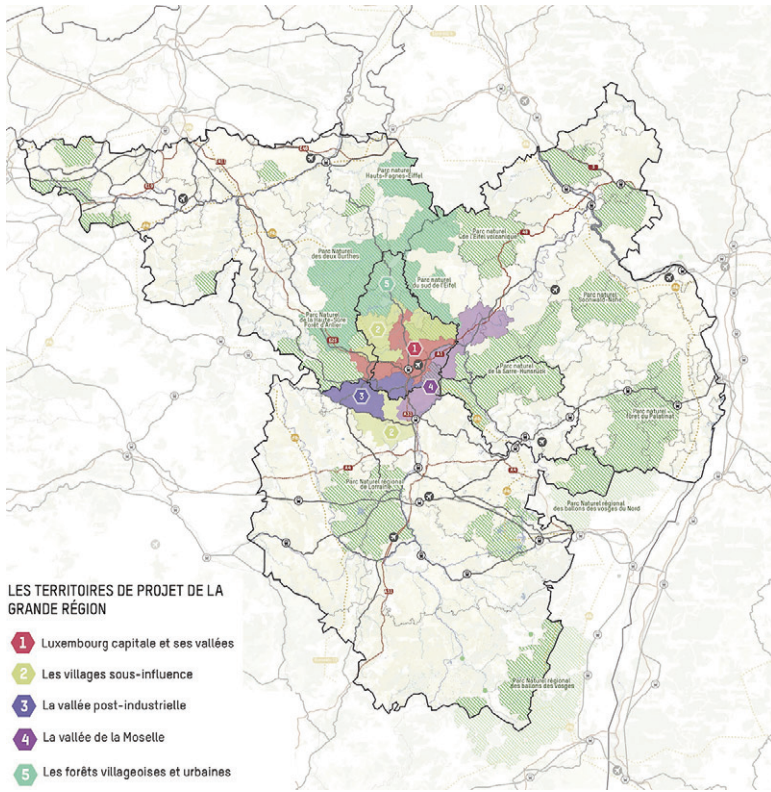


Fig. 14 | Luxeurope 2050 – The Grand-Duchy in Transition by Interland (Lyon), Carbone 4 (Paris), Auxilia (Lyon), and Ecole Supérieure d'Architecture des Jardins (Paris): territorial entities prone to the ecological transition by design in the Greater Region.

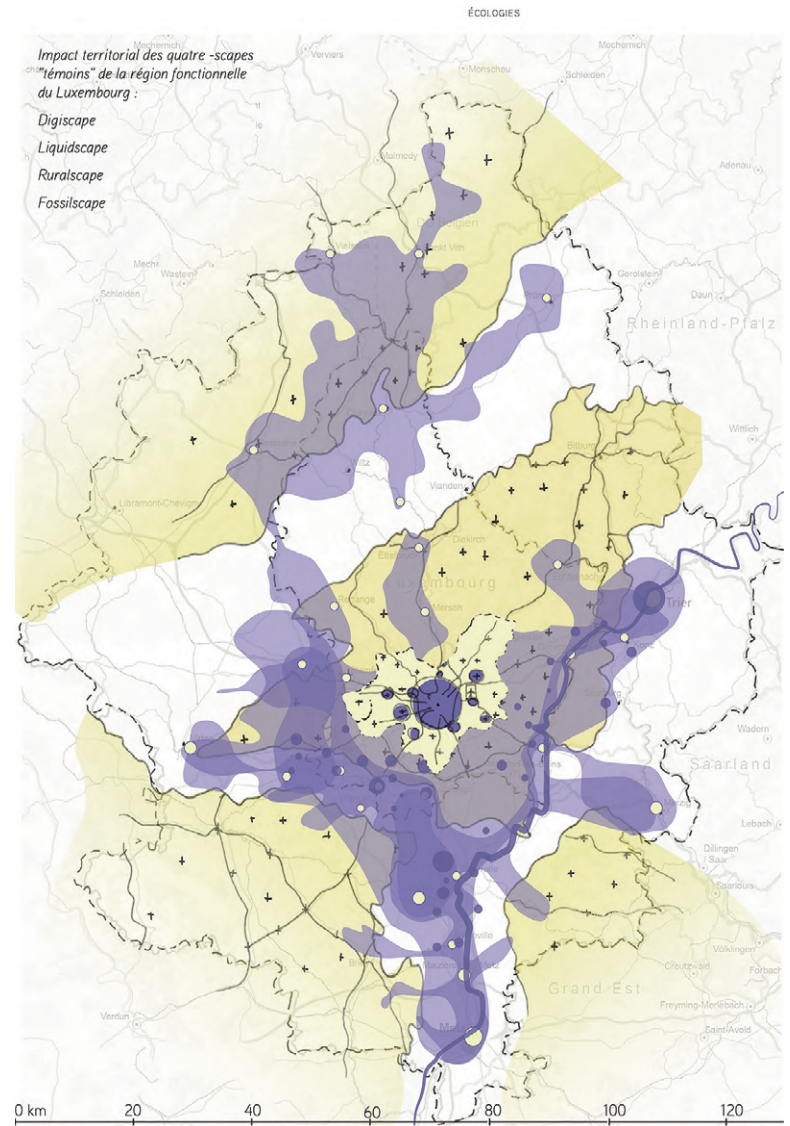


Fig. 15 | Energyscapes – Escape from the Petroscape by Raum 404 (Zurich), Base-Payage et urbanisme (Paris), Drees & Sommer (Basel), Basler & Hofmann AG (Bern), and Topos Urbanisme (Geneva): the four scapes of the functional region.

sensus that humans will live in harsh conditions in the future, as also pointed out by Turkish-American economist Nouriel Roubini (2022).²

Therefore, there is a need to reverse the trend by embarking on a new path characterised by an 'ecological transition'. The terminology is very precise: it signifies that human societies need to 'transit' from an unsustainable mode of life to a sustainable one, following two inextricably interwoven pathways: 1) decarbonisation (or mitigation), aiming to eliminate greenhouse gas emissions from human activities and – referring to the above-mentioned binary framework – shield nature from human impact; 2) Resilience (or adaptation), involving the re-organisation of human societies to effectively manage the adverse effects of global warming, thereby safeguarding humanity from natural impacts.

While for the first pathway the data (inferred from metrics and reporting methodologies already developed and constantly improved) indicates that humanity is using nature 1.7 times faster than our Planet's biocapacity to regenerate, which is equivalent to using the resources of 1.7 Earths³, for the second pathway metrics, standards and methodologies are all yet to be defined and validated. If indeed resilience is 'learning by doing', it often takes a catastrophic event to assess the resilience of a building, site, or community: the loss of life, dam-

age to homes and towns, the number of trees uprooted, or the amount of crops lost can only be assessed after a disaster has occurred, the assessment of which will prompt the deployment of increasingly efficient measures until a more catastrophic disaster strikes again and further new measures need to be thought of. Indeed, resilience requires a fundamentally different approach than decarbonisation in imagining the future. It is ultimately about building and planning during the storm depicted in the famous cartoon shown in Figure 1.

Ecological planning, heir to modernist positivism | How can we facilitate this transition, especially in the urban context that simultaneously represents the scope, driver and solution within which to operate the ecological shift? Since its inception, urban planning has been a catalyst for humanity's progression towards a brighter future, particularly from the late 19th-century through the post-World War II economic boom. However, as Bernardo Secchi (1984) aptly pointed out around 2010, 'conditions have radically changed'⁴ and this change is not only spatial, but also temporal, and remains so despite the failure of geologists to officially validate the term Anthropocene.

German philosopher Peter Sloterdijk (2024) underscores this temporal shift by stating that, in our 'broad present time', the gap between our under-

standing of the past and our ability to anticipate the future has reached intolerable proportions: since the 19th-century, our retrospective inquiry has extended into the past for millions of years, while our vision of the future dares not venture beyond a few decades. Moreover, despite the modernist impulse to project ourselves into a supposedly bright future, today we are slowing down our commitment to that time horizon that appears increasingly threatening: with each passing year, the uncertainties and the losses in terms of lives and resources increase, with repercussions that shall certainly reverberate for decades and even centuries to come.

For the first time, there is the perception that the planned action of organising space and optimising the consumption and flow of people can lead to something other than profit maximisation and welfare. From this perspective, planning attempted a risky merger with ecology through the concept of 'ecological planning', a term that surprisingly has garnered support across the political spectrum as it addresses the dual challenges of effectively managing man-made spaces and safeguarding natural resources (Tarlet, 1999) aligns with the 19th-century positivist techno-scientific thesis that we can plan 'strategically', that is, delineate spatial-temporal sequences from a starting point to a definitive goal.

However, such planning carried out on maps

and blueprints – since the term is derived from the Latin word ‘planus’ (flat, level, plain) – while based on relatively certain climate, economic and social data and policy directions is conceived and implemented with little deviation from the initial assumptions. However, today we are faced with only a few but definite certainties on which ecological planning can be based: 1) global average temperatures will continue to rise, and if the 2050 decarbonisation targets are not met, the +2 °C limit compared to pre-industrial times will be far exceeded; 2) polar ice caps and glaciers will continue to melt, at an even faster rate than hitherto projected, with sea levels rising by about 60 meters if the entire Antarctic ice sheet melts; 3) disasters caused by climate change will intensify, with increasingly frequent heat waves, wildfires, droughts, persistent rainfall, and floods, posing unprecedented challenges to societies and communities, especially their most vulnerable individuals (Goar, 2024); 4) terrestrial and marine biodiversity will be further reduced by rising temperatures on both sea and land (Carrington, 2021); 5) health crises similar to the Covid-19 pandemic will increase with proliferation and spread of known and unknown viruses due to melting of glaciers, deforestation, increased density of population centres, and anthropization of the Earth that brings us closer and closer to wildlife and its viruses; 6) population increase will cause mass migrations to more hospitable latitudes.

We can only stand in awe at the announced gravity of these impending calamities, at their interconnections and cascading repercussions that are still partially understandable. In the absence of urgent strategies and concrete actions, the models of the IPCC (2023) set up scenarios unprecedented in human history, including those of prolonged drought that can trigger chaotic multiplier effects on food security, mobility, energy, migration and more. As a result, ‘ecological planning’ is increasingly constrained to a time horizon rapidly approaching our current standpoint, given the accelerating pace

of change: to paraphrase the thoughts of Sloterdijk (2024), we cannot make a serious and responsible assumption about how things will be on Earth by the end of the 21st-century. Regrettably, most of the population seems indifferent toward climate change and its impact.

Strategic perspective to overcome uncertainty

| The cascading effects of climate change will transcend national boundaries, and Western society, heavily constrained to its actual standards, will find it very difficult to deal with what has been aptly summarised by the acronyms VUCA (Volatility, Uncertainty, Complexity, Ambiguity) and TUNA (Turbulent, Uncertain, Novel, Ambiguous). How can cities and regions develop and implement concrete policies without a reliable projection tool? How can the ‘project’ contribute to the ecological transition by shaping space and time for human and non-human entities?

This is where we introduce a diagnostic method upon which to found the indispensable decision-making process: prospective analysis or strategic foresight. Derived from the Latin roots ‘pro’ (forward) and ‘specto’, ‘spectare’ (to consider, to observe, to look at), prospective refers to the systematic awareness of the growing uncertainty about the future, while the adjective ‘strategic’ provides the tools to support policymakers and populations in systemic adaptation to the impacts of global warming.

Compared to a ‘plan’ that outlines a specific goal resulting from the outcome of concurrent processes, thus creating a ‘closed’ horizon, ‘foresight’ imagines an ‘open’ horizon without taking data, analysis and recommendations for granted: rather than an executive tool, it should resemble an incomplete ‘portolan map’, like those made by 15th- and 16th-century explorers who ventured into mostly unknown continents (Fig. 2). Foresight, then, outlines potential developments from a present that is based on subjective interpretations and projects in-

to an unknown future transcending our present experience.

Strategic ‘prospective’, on the other hand, based on analysis that blends with serendipity, offers a range of tools including: a) parallel scenarios, which identify behaviours and interactions, helping to formulate concrete strategies for action; b) forecasting, which by analysing probabilities approaches the future by predicting possible trajectories; c) horizon scanning, looking for minimal signs of positive or negative change; d) contingency planning, which prepares for decision-making in the event of possible or probable crises; e) crisis simulation, which deduces from past experience ways of action to overcome new ones; f) trend analysis in STEEP (Social, Technology, Economy, Environment, Policy) areas; g) reverse planning, which establishes a goal to be achieved through backward planning, the closest method to modern planning principles.

Strategic urban foresight: some historical precedents

| Urban ‘foresight’, as part of strategic foresight, is beginning to attract interest; on the one hand, it is based on a circumscribed theoretical framework, and on the other, its applications remain relatively limited compared to traditional planning methods. However, it is worth noting that architects and urban planners have engaged in foresight exercises, as evidenced by the early CIAMs, the maps and Plans drawn up by visionaries such as Le Corbusier and Van Eesteren for their Charter during the voyage aboard the Patris II from Marseille to Athens in 1933.

We can probably locate the pioneer of strategic urban foresight in the 1910 competition for Greater Berlin (Tubbesing, 2018), which paved the way for the development of the discipline of urban planning at the threshold of the 20th-century with its multi-level and interdisciplinary approach, in which the competing architects had to consider simultaneously built-up areas, green spaces and mobility networks through a multiscale analysis, from ar-

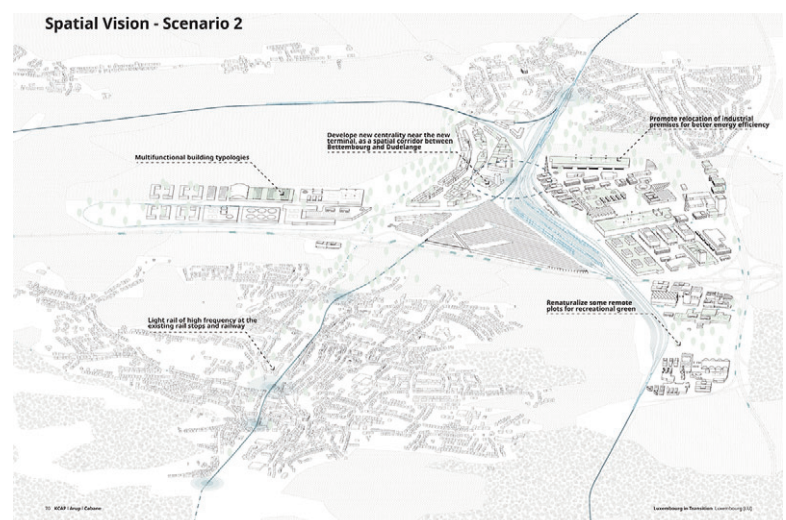
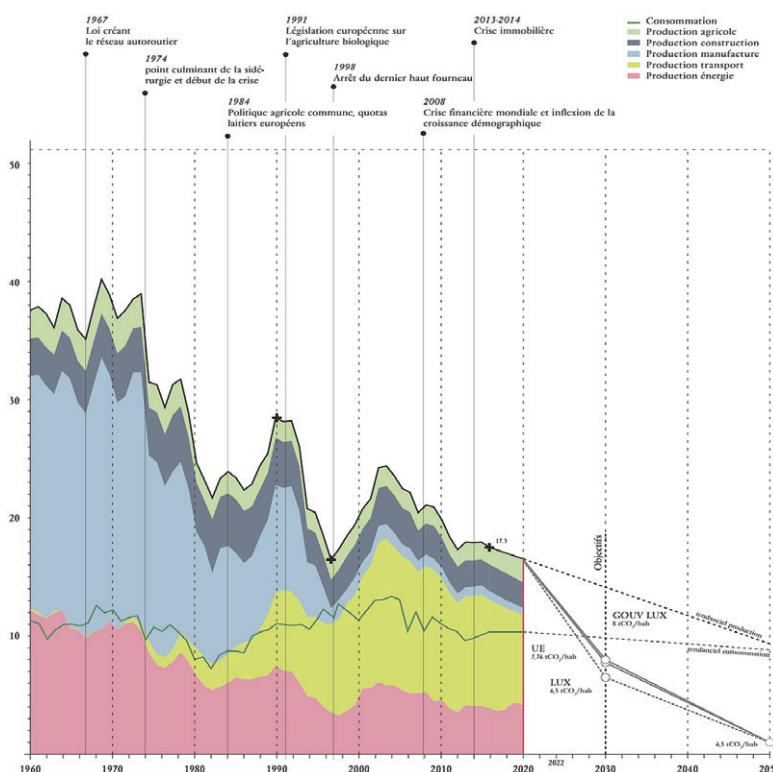


Fig. 16 | Everyday Metrics – Materials and Coalitions for Construction and Food by TVK (Paris) and Laboratoire SPLOTT (Université Gustave Eiffel, Paris): Evolution in Luxembourg’s carbon inventory and total greenhouse gas emissions since 1970 and targets for 2030 and 2050.

Fig. 17 | Project by KCAP (Zurich-Amsterdam), Arup (London), and Cabane Urbane Strategien (Basel): example of a scenario for the area of Bettembourg-Dudelange integrating spatial solutions.

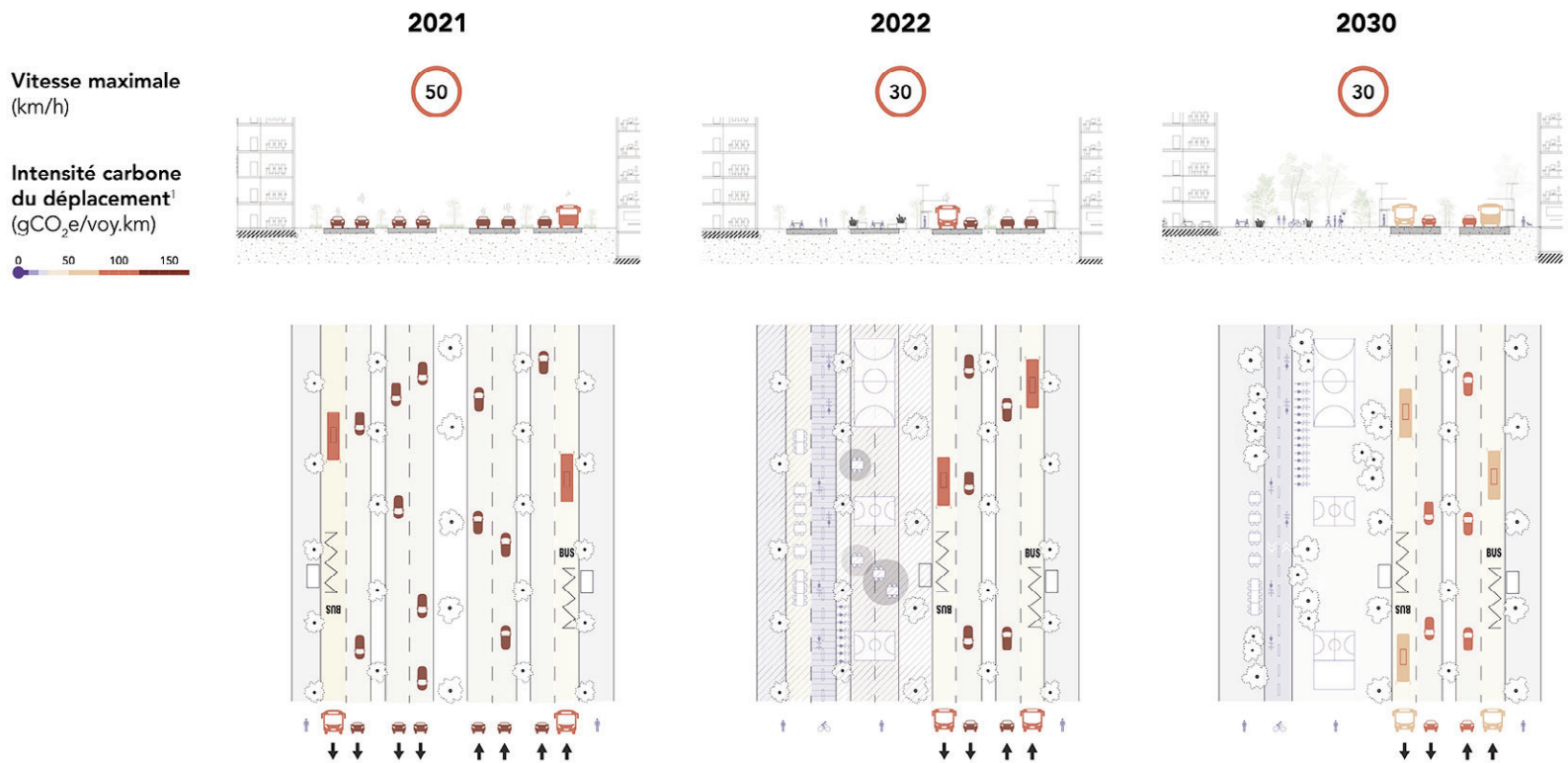


Fig. 18 | Soil and People by 2001, LOLA, 51N4E, Systematica, Endeavour, TUK, ETHZ, Transsolar, Yellow Ball, OFC, and Gregor Waltersdorfer: the TDR tool implemented on the rural community of Bettendorf.

chitecture to territory and from centre to periphery, and with the idea of overcoming administrative limits and giving coherence to the whole territory with integrated solutions. The German term ‘gross’ (larger) carries with it a sense of size and complexity and persists today in most attempts to plan megacities; a competition for planning ideas saw three prizes awarded, one of them to Hermann Jansen’s scheme that inspired Martin Wagner’s famous graphic representation of Grossstadt (Fig. 3).

A second precursor was the Greater London Plan that Sir Patrick Abercrombie (1944) and his team drew up in underground shelters during the London Blitz from 1940 to 1944 (Fig. 4). Putting forth ideas and concepts born in the pre-war years in the United Kingdom and Germany, the Plan showcases the concept of New Towns and offers an articulated and coordinated image of a metropolitan region, destined to become a megalopolis (Hall, 1973). A third antecedent, to be mentioned for historical accuracy, is that of the Greater Helsinki 2050 Ideas Competition, organised in 2007 to explore potential configurations of Finland’s main metropolitan region (Ache, 2011).

Finally, mention must be made of the international consultation Le Grand Pari(s) de l’Agglomération Parisienne, signalling a double shift in the evolution of the coordinated exploration of the French capital’s possible futures: organised in 2008-2010, on the one hand it favours the consultation method, which, unlike the competition method, does not privilege one proposal over the others; on the other hand, its subtitle Prospective Analysis for the Post-Kyoto Metropolis marks the definitive turn toward ecological issues, a première in respect to other major metropolitan reflections (Drevon, 2009).⁵

The Greater Geneva consultation | The international consultation Prospective Visions for Greater

Geneva was launched in 2018 thanks to the initiative of Fondation Braillard Architectes, in collaboration with a broad Swiss-French public-private partnership, to stimulate reflections and elaborate strategic foresight to serve policymakers in this particular cross-border region in a time horizon to 2050, through architectural, urban, landscape and spatial projects.

Interdisciplinary teams were invited to develop hypotheses for a future based on equity and justice, respecting biodiversity and resources, and to respond to climate change with a resilient approach to socio-economic issues as well. For Geneva’s specific cross-border metropolitan context, these objectives were analysed through several themes, including resources and energy, tangible and intangible networks, tradition and innovation, urban metabolism, well-being and consumption, demography, mobility, etc. In essence, four parallel fields of inquiry were identified, summarising the aspirations of the participating stakeholders⁶:

- City and Energy; what devices can contribute to a clean energy-powered settlement and decarbonisation? How can energy consumption be reduced by 2050? What energy mix can enable decarbonisation? How can energy and resource economies be generated, and their synergy generate concrete benefits and become symbols of a new way of life?
- City and Mobility: how can we imagine a new mobility to serve the spaces where individual and collective life takes place? How can we reinvent a city that is not constrained to individual mobility, or conversely, how can we modify cities to adapt to the challenges of our time? What are the relevant scales of this new mobility, also considering the importance and international status of Geneva?
- City and Nature; how can we enhance the complex network of services, including ecosystem services, traditionally found in the city-landscape of

Greater Geneva? How do we relate temperate climate with seasonal variety, biodiversity, agriculture, and the City’s regional and international symbolic, economic, and social functions?

– City and Society; what urban forms, habitat quality, and mix of public spaces will meet the expectations of resident and visiting populations and future social changes? What urban regeneration (through preservation, transformation, and extension interventions) will we be able to operate within the various inherited built environments? How can we strengthen the feeling of belonging within the multiple scales of the Greater Geneva region?

Based on the initial statements of intent, seven out of forty working groups were selected to develop the proposed fields of investigation, according to a method of parallel work by the steering and scientific committees that simultaneously evaluated the seven hypotheses according to the philosophy of the consultation, as there could not be a single winner or a single study entirely adequate for sustainable land development. Each of the seven visions was considered in its entirety with respect to the environmental emergency, constituting a specific scenario that develops in a parallel manner, thus transforming the consultation into a design-based research laboratory, in which the projects’ positions, hypotheses, patterns, forms and narratives intersect at all scales.

The Greater Geneva consultation outcomes |

The result of this innovative process was a strategic foresight of the cross-border conurbation as an experimental field in which lifestyles based on current resource consumption are no longer ecologically sustainable. Conversely, it was about creating a transitional trajectory with a gradual and equitable limitation of resource consumption, until dropping below the Planet’s biocapacity regeneration thresh-

old. Thus, seven complementary stories of the future were produced, imbued with both insight and creativity, heralding a new generation of professionals on spatial transformation and offering elements in favour of a new generation of transition-oriented territorial policies.

With the title *Of Soil and Toil*, the Habitat Research Center-EPFL⁷ team sought to understand how soil, the fundamental material matrix of life, can trigger the experience of radical social transformation – a concept often absent from visions of transition because it is associated with economic issues and social inequalities – by placing labour at the centre of the productive landscape of a ‘horizontal’, and therefore democratic, metropolis. The ecological transition thus becomes a common and shared project, whose architectural and urban expressions translate the aspirations of a society renewing itself within the varieties of its context into three dimensions (Fig. 5).

Soil and its multiple functions, both environmental and social, were also the focus of the ETHZ-University of Luxembourg’s proposal entitled *Greater Geneva and Its Soil*⁸, whose project explored five complementary characteristics of the city in transition that are instrumental to the main goal of total decarbonisation by 2050. Nature, agriculture, proximity, sharing and circularity are confronted with the specific spatial qualities of the cross-border territory, infrastructure, countryside, waterways, forests and mountainous border, causing settlements and related configurations to emerge throughout the territory, beyond the strictly urbanised areas. Networks and spaces merge to create hybrid places of new density, far beyond modern zoning standards and its clear separation of functions, enabling the transition by combining forces, resources and energies (Fig. 6).

The project under the title *Metabolizing the Invisibles*⁹ attempted to rebuild the city through scientific analysis and the experiential approach of electricity, underground and water networks. The initial hypothesis is that the areas dedicated to networks are sufficiently ample, as well as largely underused in the effort to maximise the efficiency of urban space in the fight against global warming. Metaphorically, the entire city can be seen as an infrastructure or, better yet, a resource for building an integrated decarbonisation system. With a semantic reversal, it is possible to conceive these ‘invisible’ networks as a sort of symbolic superstructure, a true aesthetic form whose critical representation, reconstructed by an ‘architecture of infrastructure’, can express the aspirations of a radically renewed society (Fig. 7).

The working group entitled *Resource Realms*¹⁰ proposed an infrastructure mosaic of diverse resources (inert, organic and human) of the territory at its different microscales. Their activation through elaboration, cooperation and sharing reveals the quasi-molecular form of the region, in which each part can have relative autonomy, while the whole operates as a complex organism capable of making the most of existing urban area conditions, without resorting to new construction or expansion, yet respecting the integrity of the surrounding natural space. Sustainability thus becomes, above all, a community-based project (Fig. 8).

The Metropolitan Constellation project¹¹ explores a science- and technology-based evolution of Greater Geneva on a large scale. The prospect

of CERN’s construction of a new particle accelerator with a 100-kilometre perimeter allowed the team to imagine using the excess energy produced to supply electricity to a metropolis stretching across the accelerator ring. The agglomeration thus extends along a well-defined and energetically autonomous axis, around a sort of central territorial park whose centre is occupied by the Salève relief. This central park and the town on its perimeter constitute, through a precise territorial distribution, the basis for a sense of belonging of the population to an understandable, recognisable and vital habitat (Fig. 9).

The *Energy Landscapes*¹² project considers Greater Geneva a space composed of nature, humans, goods and services structured around complex energy resources and networks. Its ecological future is only possible through radically reconsidering inputs and outputs, where human consumption must be reoriented, modified and moderated. The image of the Geneva airport transformed into a giant agro-ecological experiment remains one of the most striking moments of the consultation (Fig. 10).

Finally, The *Great Crossing*¹³ team envisioned a development based on humankind’s energies expended constantly shaping the land and its ability to design and implement an ecological transition project. The team explored the territory to discover the potential of countless micro-projects to implement the desired transition, involving residents, stakeholders, and experts according to timely but ‘open’ interchange protocols. Local resources proved anything but passive in this project, revealing transformative and creative abilities (Fig. 11).

Nearly a decade after the pioneering Greater Paris consultation, the Geneva case reveals the willingness and readiness of architects and urban planners to tackle issues that until then had been barely within their reach and capacity. Decarbonisation and resilience strategies thus proved to be, to a certain extent, a matter of spatial design. Astute solutions involving infrastructures, trans-scalar combinations and societal dynamics are indeed possible, for as much as the stakeholders are ready to follow non-standard pathways. In conclusion, this enriched experience has pioneered a ‘collective educational mode’, and consultation has developed common agendas and directions for new visionary policies that are currently being developed in this exceptional territory. The next step will be to understand if and how design disciplines can measure the effects of their visions in terms of natural resources and human effort.

From Geneva to Luxembourg: leap in scale and working methodologies | In the case of Luxembourg’s cross-border region, Fondation Braillard Architectes’ future-oriented practices and organisational skills have built on the Geneva experience to make a quantum leap in scale, methodology, and precision.

The international Luxembourg in Transition (LiT) consultation, as it was officially named, represents a breakthrough in terms of methodology, scope and results in the development of urban foresight¹⁴ in that the consultation was set to formulate more informed and advanced insights for the future organisation of urban territories, ranging from the regional to the individual building scale. However, the terms ‘informed’ and ‘advanced’ refer to the Scientific Director’s interpretation of the political, eco-

nomical, social, scientific, and cultural Zeitgeist, characterising the call (through data, hypotheses, and questions) that therefore becomes a tool to direct the projects of the participating teams.

The LiT consultation was launched and conducted from December 2019 to January 2022 during the striking collective experience of the Covid-19 pandemic, which prompted a reconsideration of our lifestyles and modes of action. Conflicts between scientific evidence and projection, social acceptance and rejection, political leadership and opportunism have allowed for the development of new concepts and methodologies to achieve unprecedented goals: decarbonisation and building resilience seemed then commonly established and shared goals of the ecological transition.

Despite its similarity to Greater Geneva in terms of international character, absolute centrality and financial capacity, Luxembourg’s case encompasses a much larger perimeter, extending to its external borders with the French, German and Belgian regions: compared to Greater Geneva’s 1,996 square kilometres and one million inhabitants, Luxembourg’s cross-border functional area covers about 11,000 square kilometres with a population of about 1,8 million.

Luxembourg is characterised by an economic dynamism that places it just behind Monaco and Liechtenstein in terms of GDP per capita worldwide¹⁵. Its wealth, based mainly on financial markets, may be at risk because of its low ability to withstand the impacts of climate change for a long time. In fact, Luxembourg ranks just behind Qatar in terms of per capita anthropogenic footprint on the ecosystem, with an estimated 10.96 gigahectares per person per year (2022).¹⁶

For the first time in the development of consultation methodology, strategic foresight was to be

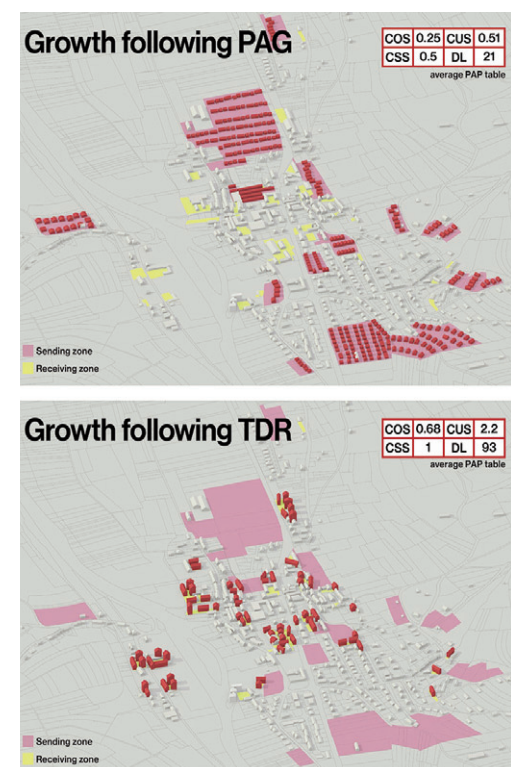


Fig. 19 | Capital Landscape by AREP (Paris), Taktyk (Brussels), Quattrolibri (Paris), Institut de la Transition Environnementale Sorbonne Université (Paris), and Mobil'Home (Paris): the mobility axis applied on the Côte d'Or site.

more than just a collection of ideas for the implementation of the ecological transition, as was the case with the Greater Paris and Greater Geneva consultations. But it was built upon the same collective awareness of the need to radically redesign our urban spaces, which are the cause, the effect and probably the solution to the environmental emergency. In addition, thanks to the Minister of Energy and Planning staff, a three-stage selection process was developed: the first stage selected ten teams, based on a statement of intent and appropriate interdisciplinary expertise; in the second stage, six were selected, based on analyses of the critical environmental issues found in Luxembourg; and finally, four were admitted to the last stage, based on large-scale prospective visions. The four finalists then developed projects on specific locations within Luxembourg's national borders, imagining their evolution over time.

The first phase aimed to establish a new generation of transition metrics, since the results of the Paris and Geneva consultations had shown that, despite its considerable conceptual depth, strategic forecasting for the ecological transition of cities and regions remained too descriptive, declarative, and qualitative: in previous experiences, the multiscale approach toward the desired future was not based on setting quantitative targets and did not contain methodologies for evaluating proposed transformations. To put it bluntly, concern remained that projects that boasted 'ecological' qualities did not deviate much from 'business as usual' in architecture and planning and, as with previous experiences, failed to match the outcomes of environmental transformation strategies with the goals of ecological transition.

Focusing primarily on the outcome and insufficiently on the process needed to achieve it, previous consultations had provided too few key indicators for managing the transition process and insufficient criteria for holding stakeholders accountable. In contrast, LiT's methodological innovation, with its search for a new generation of metrics, succeeds in linking regional, urban, landscape and architectural design to 'zero-carbon' processes in appropriate spatial-temporal sequences, reinforcing the interdisciplinary character of the process between architecture, urban planning, landscape architecture, economics, sociology, anthropology, statistics, demography, agro-biology, etc., already present in previous consultations.

The ten strategic planning projects in Luxembourg

The project entitled *A Vision for Luxembourg-Europe – Earth*¹⁷ addressed the metric challenge with a three-scenario approach: 1) the 'cradle-to-cradle' scenario follows a decarbonisation curve whose shape reveals a non-constant decrease between 2019 and 2050 and does not challenge the current socio-economic model, but imagines implementing the transition based on innovation and technology, driven by research and industry; 2) the 'degrowth' scenario, which envisions an immediate reduction in consumption, is shown to be more effective than the other two in the short term with greater emission reductions in the first 15 years, while after 2035 the reduction need not be as large as it benefits from the previous one; 3) the 'deep ecology' scenario, based on a collective awareness of the urgency of the transition, pushes authorities to implement taxing policies

for both the private sector and individual lifestyles, resulting in a shift in market values and valuing the entire ecosystem in place of the dominant anthropocentrism (Fig. 12).

The strategy proposed by the *Metabolising the Territory's Networks*¹⁸ team is characterised by the presence of 'hard' and 'soft' networks, existing and future, whose complexity conditions any form of development and can regulate a new planning philosophy. Concerning the request to identify a transition metric, the team does not prioritise the CO₂ emissions indicator and focuses on a combination of operational, legal, technical, and social indicators aimed at creating experimental demonstrators within an overall strategic framework. The team believes that the country's conspicuous fossil-fuel-based energy consumption is the main cause of its significant anthropogenic footprint on the ecosystem, mainly caused by the increase in CO₂ emissions from road and air transport, the volumes of which are not correlated with population. If the current phenomenon persists, climate change will exacerbate an already deteriorated environmental condition and have disastrous consequences on the transition pathway (Fig. 13).

The proposal *Luxeurope 2050 – The Grand-Duchy in Transition*¹⁹ believes that complying with the Paris Agreement (UN, 2015) to keep temperature rise below 2 °C requires achieving climate neutrality by mid-century and must go hand in hand with deep and radical socio-technical transformations. The project focuses on several objectives: a new citizen participation model, cross-border synergies, a renewed sense of belonging to the territory, and an economy model based on circularity. Since Luxembourg is highly dependent on its neighbouring regions, both in terms of material and human resources, as the term 'functional cross-border region' suggests, its transition strategy can only be conceived at this scale (Fig. 14).

In the proposal *Energyscapes – Escape from the Petroscape*²⁰, based on Reyner Banham's (1971) and Jakob Johann von Uexküll's (1909) 'bio-anthropocentrism' in favour of the health of the biosphere, the team notes the magnitude of the necessary changes to be implemented and the multiplicity of stakeholders involved to achieve carbon neutrality by 2050, organising, at each stage of implementation, the energy transition in the mobility and building sectors. In parallel, the team notes the urgent need to provide this complex system with resilience in relation to increasingly frequent and violent climate disasters through various practices and functions (Fig. 15).

The *Everyday Metrics – Materials and Coalitions for Construction and Food*²¹ project presented an evocative historical perspective from 1960 to 2050 on the quantities of CO₂ produced and their evolutionary dynamics in the functional region. To test the principles of the identified metrics and understand how to calculate the footprint of land transformation projects, the team set up a simulation based on a series of samples (food and building materials) representative of production and consumption and nodal places of daily life in the Grand Duchy, on the basis of inventory and measuring their CO₂ equivalent per inhabitant and year. Within the inventory are examples of high greenhouse gas emissions (cattle farming, for milk and meat production; concrete production, with sand and cement extraction) and high CO₂ storage capacity (wood).

Connecting places of production and consumption of these samples enables the spatial and temporal dimensions to be brought together, in a 'resource coalition' project to accelerate decarbonisation, through five 'seasons', i.e., scenarios located in specific areas of Luxembourg, which alternately enable polyculture, forestry, agro-forestry and urban agriculture, whose spatial and functional integration transforms them into pilot 'livelihood infrastructures' (Fig. 16).

The Amsterdam / Zurich team adopted the general title of the consultation²² to set up a preliminary analysis based on a three-dimensional conceptual scheme that brings together time (2020-2050), context (six Luxembourg zones: centrality, transnational exchange, EU policies / Covid conjuncture, resilience) and domains (mobility, logistics, buildings, industrial employment, material flows, agriculture / landscape / nature). Their various combined uses offer different means of action that can be used in a coordinated way to maximise the effects and achieve the goals of the ecological transition more rapidly. In the second phase, the team focuses on the issue of logistics, whose role in decarbonisation is of primary importance, proposing a series of scenarios for the transitional development of certain preponderant sectors, articulated in time sequences according to the implementation of policies, opportunities and emergencies (Fig. 17).

The *Soil and People* project²³ introduces the indeed original idea of a 'biofunctional cross-border region' based on Luxembourg's natural watersheds. Its elaboration presents a different reading of the cross-border territory on which the team applies the 1.5 Life scenario of the European Union study *A Clean Planet for All* (European Commission, 2018), to achieve carbon neutrality by 2050, identifying three types of metrics: 1) action metrics, to measure the quantifiable impact of individual actions and civil society; 2) acceleration metrics, to align initiatives and amplify the scope of actions involving business, civil society and governments; and 3) evaluation metrics, to redefine growth and development, aimed primarily at governance. Their combination enables a strategic assessment of measures on specific key sectors in the cross-border region, aiming for a zero-emission society by 2050.

The team's second Report presents a 'quantifiable' decarbonisation strategy for the Luxembourg functional territory, one that can only be implemented if it is based on coordinated actions accompanied by user education and awareness initiatives. Key transitions may include, for example, limiting expansion with the use of a green belt, increasing productive community gardens, and introducing hybrid building types. In its third and final Report, the team proposes a 'fully integrated toolbox' consisting of: a) accelerators for sustainable land use; b) Transferable Development Rights (TDRs; Fig. 18); c) zero-CO₂ emissions development; d) pathways to address healthy dietary behaviours; e) carbon farming practices; and f) reforestation.

The *Capital Landscape*²⁴ project presented its strategic forecast scenario based on the European Union's target of a 55% reduction in greenhouse gas emissions by 2030 (European Commission, 2018) and the United Nations' declaration of a 'state of climate emergency' (WMO, 2023). This action-based scenario is presented as radically different from previous practices conducted on a Luxembourg scale, such as Jeremy Rifkin's (2011) study

for the Luxembourg government based on the Third Industrial Revolution; the goal here is to reduce the time of the ‘analysis, design, recommendations, validation, implementation’ phases and increase the speed with which demonstration projects are implemented and scaled up. Time appears, therefore, to be of strategic importance and is articulated as follows: 2021 was the year of use change; between 2022-2025 the production apparatus will be changed; between 2026-2030 structural reconstruction will be activated.

In the second Report for the functional region, the team reconciles the urban, rural, and different sectors of the economy along four axes of decarbonised mobility, agro-urbanism, renewed symbiotic relationship with vegetation, and zero land consumption, while in the third and final Report, the team illustrates the phased development of some demonstration sites using the ‘fully integrated toolbox’ to implement the ecological transition in metropolitan areas (Fig. 19).

The Beyond Lux(e)²⁵ study is also based on a layered analysis (Fig. 20), taking into consideration natural, economic, technical, social and cultural factors, envisaging a phasing out of established practices and the introduction of emerging alternatives. The project introduces nine steps for the ecological transition of the cross-border functional area: 1) setting regenerative goals; 2) measuring the distance to the goals; 3) listing tools and actions; 4) developing regeneration metrics; 5) introducing integrated design; 6) plotting the transition

curve; 7) planning to 2050; 8) exporting regeneration models; and 9) identifying strategic projects.

While in the second Report the team outlines the process Toward Ecotopia along five parallel themes (food, energy, water, mobility, and waste) to be implemented through iterative – and no longer linear – methodologies of intensification, renewal / transformation, and refitting of the functional region’s built environment, the third and final Report exemplifies the method: for instance, in the Arlon-Bettendorf urban axis, the team illustrates at a detailed scale discrete, efficient, and user / environmentally friendly interventions on natural resources and their man-made exploitation.

Based instead on Wolfgang Sachs’ concept of ‘sufficiency in four principles’ (less speed, less distance, less clutter, less market), Prospects for a Regenerative City-Landscape²⁶ proposes a program of interventions aimed at reducing the per capita carbon footprint from 13.2 to 1.6 tons of CO₂ equivalent per person per year. The first decarbonisation measures concern individual behaviours (food and mobility), which will be followed by structural and more incisive changes in planning, construction, production and consumption. Eventually, an optimisation phase will follow, at the end of which most impacts will come only from essential needs, namely housing and food.

In the second Report, the team focuses on translating sequentially the metrics and strategies – initially conceived with a holistic scope – into spatial domains, according to a realistic implemen-

tation timeline and with the hope of civic empowerment. Since transition, like any change of course, materialises in places where alternative activities and economies can be developed, the team proposes new ‘post-fossil’ practices based on workshops and narratives bound to engage the citizens in a collaborative and daily design of the transition process of the entire functional area, which is defined as an ‘Archipelago 1.6TCO₂ – A low-carbon and resilient city-landscape, of more sufficient and equal urban islands embedded in a productive, colourful, ecological landscape co-inhabited by all living things’.

In the third and final Report, the team verifies the metrics and conceptual framework by focusing on the ‘regeneration’ of peri-urban commercial zones, whose total area is equal to that of the City of Luxembourg, demonstrating that it is possible to achieve, in the spirit of zero land consumption, the country’s population growth by replacing the mono-functional character in the example of the under-utilised shopping mall in Foetz with a thriving urban place without impacting the neighbouring fragile natural landscapes (Fig. 21).

Reflections on the strategic foresight consultations | Admittedly, an overview of the Geneva and Luxembourg consultations does not do justice to the many hours of work, the thousands of pages written, the complexity of the metrics developed, and the fertile graphic material produced by the selected teams, nor does it reveal the passionate col-

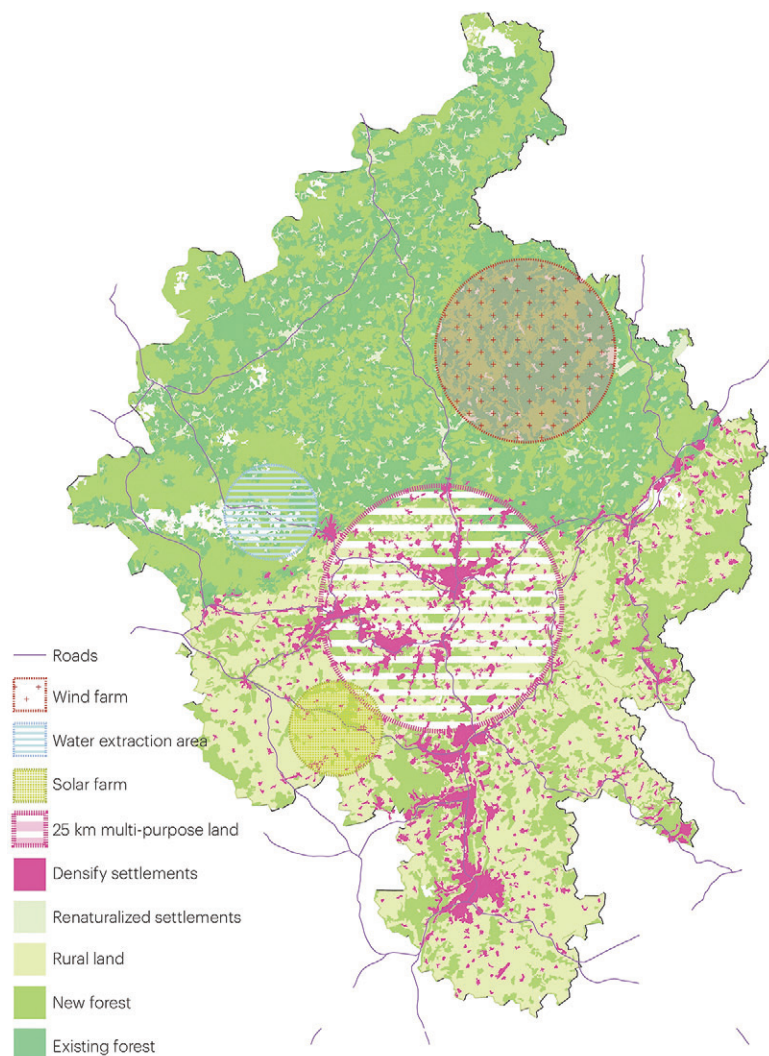


Fig. 20 | Beyond Lux(e) by MVRDV (Rotterdam), Drift (Rotterdam), H+N+S (Rotterdam), Transsolar (Stuttgart), Goudappel Coffeng (NL), Deltares (Delft), and University of Twente: vision by 2050 of the functional region.

Fig. 21 | Prospects for a Regenerative City-Landscape: from parking areas to urban neighbourhoods.

lective adventure that the undersigned had the immense privilege of leading. Therefore, the following question must be asked: after this experience, what will be the role of architecture, urbanism, landscape architecture and planning in the future of cities and regions?

A common feature of all stakeholders involved in the process is their active engagement in outlining a new model of the built environment, while a unifying thread in their visions is the continuity from the spatial scale to that of the individual building, in observance of the Gesamtkunstwerk theory that inspired modernism in the strong belief that planning has a significant coordinating role. Finally, experience has confirmed architecture's ability to 'translate' an increasing amount of data in concepts, patterns and forms that foreshadow ideas for better community life. However, amidst today's strident backlash by anti-ecological forces in Europe and beyond, while at the same time, the environmental crisis is only to get worse, are these elements sufficient for architecture, urbanism, landscape architecture, and regional planning to maintain an active role in the transformation of space?

Indeed, all participants in the consultations explored possible research trajectories that, although incomplete, demonstrate that theories and practices regarding spatial design's functions, techniques, economics, sociality and aesthetics as we have known them for a century are no longer acceptable. Resources now take centre stage, while the narrative of architecture – in all its scales – as a humanist art is being seriously challenged, and a new conceptual framework is gradually being constructed that will undoubtedly dismantle some established philosophical and anthropological paradigms; especially that of an architecture that sets itself the mission of rebalancing ecosystems on the Earth exploited by humanity's excesses.

Modern disciplines have been conditioned by unprecedented development based on fossil fuel energies, and even today, in both theory and professional practice, the operating modes are highly dependent on this same development; hence the difficulty of expressing creative capacities indepen-

dent of energy availability. It proves difficult to find a compromise between contradictory injunctions in a single project, and even more difficult if we are to target 'harmonious development for all': in other words, there is still a lot of research to be done on 'how to draw an ecological line' (Mantziaras, 2022); in this sense, consultations have given rise to workshops where such issues have been discussed, developing conceptual proto-systems that will hopefully have an influence on the building activity in the years to come.

Undoubtedly, the understanding of the built environment has changed significantly in the 110 years spanning from the Berlin competition to the Luxembourg consultation even though between planning and foresight, the two fundamental constants of design at multiple spatial scales and the use of graphic representation persist, faithful guarantors of the heuristic capacity of disciplines related to urban design. Given the potential offered by new digital tools and even quantum computing in the representation of dynamic spatiotemporal relations, are we heading for a new avantgarde era? It is possible, but let us dispel any misunderstandings: with few exceptions, cities with their construction, transportation and services remain responsible for a quarter of greenhouse gas emissions, and urban lifestyles have a significant impact with an average footprint of approximately eleven tons of carbon equivalent per person in Europe.

In addition, increasingly frequent floods and droughts remind us that urban areas face the effects of global warming every year, undermining the availability of vital resources, which, together with exceptional migration events, pandemics, and social unrest, generate an unforeseeable mix of threats (Malm, 2018) to the resilience of those services essential to our survival, such as health care, education, and employment. Instead of conventional plans, and in the face of these unpredictable events and calamities, our role is to configure action scenarios that enable life on Earth in conditions of sustainability, equality and well-being, through strategic foresight that takes on the role of a meta-discipline developed to conceive, design and narrate

multiple futures, not necessarily optimistic ones.

The goal of urban foresight is to imagine a realistic way of interaction between the biosphere, our living environment, and people's actions. Achieving this goal requires a collective effort: scientists have the task of providing data and models that render the severity of the climate emergency, architects and urban planners have the responsibility of designing systems that can evolve and continually integrate this information, and finally it is the task of politics to convince the citizens to navigate in this new 'uncharted territory' (Harvey, 2022).

Notes

1) Researchers have pinpointed Lake Crawford in Ontario (Canada) as a pivotal location, signifying a shift towards an era marked by humanity's impact (McCarthy et alii, 2023).

2) According to Roubini (2022, p. 273), «[...] Megathreats are careening toward us. Their impact will shake our lives and upend the global order in ways no one today has ever experienced. Fasten your seatbelt. It's going to be a bumpy ride through a very dark night».

3) For more information, see the webpage: overshoot.footprintnetwork.org/how-many-earths-or-countries-do-we-need/ [Accessed 11 May 2024].

4) According to Secchi (1984), designing in the present era entails confronting challenges, employing methodolo-

gies, and articulating intentions that diverge from those of the recent past. For more information on the article, see: cit-tasostenibili.it/html/Scheda_17.htm#:~:text=Bernardo%20Secchi&text=sono%20cambiate%20%5B1%5D-.Le%20condizioni%20sono%20cambiate%3A%20progettare%20vuoi%20dire%20oggi%20affrontare%20problemi,anche%20da%20cosa%20è%20determinato [Accessed 11 May 2024].

5) Based on the initial concept of the architect Dr. Panos Mantziaras, then Project Manager at the Bureau de la Recherche Architecturale, Urbaine et Paysagère (BRAUP – MCC), headed by the architect Dr. Eric Lengereau, the consultation was proposed to the President of the French Republic Nicolas Sarkozy and coordinated by the BRAUP from 2008 to 2010.

6) For an overview of the Greater Geneva internation-

al consultation, see: Vv. Aa. (2021), *Sept visions – Perspectives pour le Grand Genève*, Espazium-Les Editions de la culture du bâti, Zurich. [Online] Available at: espazium.s3.eu-central-1.amazonaws.com/files/2021-06/BS_CGG_web_low_F.pdf [Accessed 11 May 2024].

7) The Team Of Soil And Toil was composed of Habitat Research Center – EPFL (Lausanne), Institut de la Durée (Genève), Institut Terre, Nature et Paysage – HEPIA (Genève), and Faculty of Spatial Sciences (University of Groningen), under the direction of Prof. Paola Viganò (EPFL).

8) The Team Greater Geneva and its Soil was composed of the Chair of Architecture and Territorial Planning – ETH (Zurich), Master in Architecture (University of Luxembourg), and Raumbureau A+U (Zurich), under the direction of Miliča Topalovic (ETH) and Florian Hertweck (UniLux).

9) The Team Metabolizing the Invisibles was composed of the Agency for Territorial Reconfiguration – AWP (Paris), under the direction of Matthias Armengaud (AWP).

10) The Team Resource Realms was composed of Atelier Aapaar (Geneva), Sofies (Geneva), and 6t mobilités (Paris), under the direction of Nathalie Mongé (Aapaar).

11) The Team Metropolitan Constellation was composed of Stefano Boeri Architetti (Milan), Michel Desvigne Paysagiste (Paris), Baukuh (Milan), Bollinger & Grohmann (Milan), and Systematica (Milan), under the direction of Stefano Boeri.

12) The Team Energy Landscape was composed of Raum 404 (Zurich), Department of Urban Studies (University of Basel), Department of Ethnology (Università di Svizzera Italiana), Drees & Sommer (Basel), Emch&Berger (Bern), under the direction of Oscar Buson (Raum 404).

13) The Team The Great Crossing was composed of Interland (Lyon), Bazar Urbain (Grenoble), Contrepoint Projets Urbains (Lausanne), Coloco (Paris), Coopérative Equilibre (Geneva), and Ecole Urbaine de Lyon, under the direction of Franck Hulliard (Interland).

14) The International consultation ‘Luxembourg in Transition – Territorial Visions for the Decarbonated and Resilient Future of the Luxembourg Functional Region’ was organised by the Ministry for Energy and Planning during Minister Claude Turmes’ mandate, from June 2020 to January 2022, under the Scientific Direction of Dr. Panos Mantziaras (FBA).

15) For more information, see the webpage: [en.wikipedia.org/wiki/List_of_countries_by_GDP_\(nominal\)_per_capita](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_countries_by_GDP_(nominal)_per_capita) [Accessed 11 May 2024].

16) For more information, see the webpage: data.footprintnetwork.org/#/compareCountries?type=EFCpc&cn=all&yr=2022 [Accessed 11 May 2024].

17) The Team A Vision for Luxembourg-Europe – Earth was composed of Studio Viganò (Milan), Habitat Research Center – EPFL (Lausanne), Centre de Recherche et d’Études pour l’Action Territoriale – Université Catholique de Louvain, Metabolism of Cities (Brussels), and Idea Strategische&Economic Consulting NV (Brussels), under the direction of Prof. Paola Viganò.

18) The Team Metabolising the Territory’s Networks was composed of the Agence de Reconfiguration Territoriale – AWP (Paris), One Architecture (New York), and Arcadis (Paris), under the direction of Marc and Matthias Armengaud (AWP).

19) The Team Luxeurope 2050 – The Grand-Duchy in Transition was composed of Interland (Lyon), Carbone 4 (Paris), Auxilia (Lyon), and Ecole Supérieure d’Architecture des Jardins (Paris), under the direction of Franck Hulliard (Interland).

20) The Team Energyscapes – Escape from the Petrolscape was composed of Raum 404 (Zurich), Base-Payage et Urbanisme (Paris), Drees & Sommer (Basel), Basler & Hofmann AG (Bern), and Topos Urbanisme (Geneva), under the direction of Oscar Buson (Raum 404).

21) The Team Everyday Metrics – Materials and Coalitions for Construction and Food was composed of TVK (Paris) and Laboratoire SPLIT – Université Gustave Eiffel (Paris), under the direction of Pierre-Alain Trevelo (TVK).

22) The Team was composed of KCAP (Zurich-Amsterdam), Arup (London) and Cabane Urbaine Strategien (Basel), under the direction of Kees Christianse (KCAP).

23) The Team Soil and People was composed of 2001, LOLA, 51N4E, Systematica, Endeavour, TUK, ETHZ, Transsolar, Yellow Ball, OFC, and Gregor Waltersdorfer, under the direction of Philippe Nathan (2001).

24) The Team Capital Landscape was composed of AREP (Paris), Taktyk (Brussels), Quattrolibri (Paris), Institut de la transition environnementale Sorbonne Université (Paris), and Mobil’Home (Paris), under the direction of Raphaël Ménard (AREP).

25) The Team was composed of MVRDV (Rotterdam), Drift (Rotterdam), H+N+S (Rotterdam), Transsolar (Stuttgart), Goudappel Coffeng (NL), Deltares (Delft), and the University of Twente, under the direction of Winy Maas (MVRDV).

26) The Team Prospects for a Regenerative City-Landscape was composed of the University of Luxembourg (UL), Luxembourg Institute of Science and Technology (LIST), Centre for Ecological Learning Luxembourg (CELL), Institute for Organic Agriculture Luxembourg (IBLA), and Office for Landscape Morphology (OLM), under the direction of Florian Hertweck (UL).

References

Abercrombie, P. (1944), *Greater London Plan*, University of London Press, London.

Ache, P. (2011), “Creating futures that would otherwise not be – Reflections on the Greater Helsinki Vision process and the making of metropolitan regions”, in *Progress in Planning*, vol. 75, issue 4, pp. 155-192. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.progress.2011.05.002 [Accessed 11 May 2024].

Bahnam, R. (1971), *Los Angeles The Architecture Of Four Ecologies*, Harper & Row Publishers, New York.

Barrau, A. (2019), *Le plus grand défi de l’histoire de l’humanité*, Edition Michel Lafon, Paris.

Brion, J. (2023), “Researchers name Canadian lake as best witness of Anthropocene”, in *Le Monde*, 13/07/2023. [Online] Available at: lemonde.fr/en/environment/article/2023/07/13/in-canada-a-lake-bears-witness-to-the-onset-of-the-anthropocene_6051333_114.html [Accessed 11 May 2024].

Carrington, D. (2021), “We’re uncharted territory for the world’s climate, UN says”, in *The Guardian*, 31/10/2021. [Online] Available at: theguardian.com/environment/2021/oct/31/were-in-uncharted-territory-for-the-worlds-climate-un-says [Accessed 11 May 2024].

Descola, P. (2024), *Beyond Nature and Culture*, University of Chicago Press, Chicago.

Drevon J.-F. (ed.) (2009), *Le Grand Pari(s) – Consultation internationale sur l’avenir de la métropole Parisienne*, Editions Le Moniteur, Paris.

European Commission (2021), *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – ‘Fit for 55’ – Delivering the EU’s 2030 Climate Target on the way to climate neutrality*, document 52021DC0550, 550 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021DC0550&qid=1708525014805 [Accessed 11 May 2024].

European Commission (2018), *Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – A Clean Planet for All – A European strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy*, document 52018DC0773, 773 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52018DC0773 [Accessed 11 May 2024].

Goar, M. (2024), “Ocean temperatures reach impressive and worrying record levels”, in *Le Monde*, 01/02/24. [Online] Available at: emonde.fr/en/environment/article/2024/02/01/ocean-temperatures-reach-impressive-and-worrying-record-levels_6485327_114.html [Accessed 11 May 2024].

Hall, P. G. (1973), *The Containment of Urban England*, Allen and Unwin for PEP, Beverly Hills, Sage Publications, London.

Harvey, F. (2022), “World heading into ‘uncharted territory of destruction’, says climate report”, in *The Guardian*, 13/09/2022. [Online] Available at: theguardian.com/environment/2022/sep/13/world-heading-into-uncharted-territory-of-destruction-says-climate-report [Accessed 11 May 2024].

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2023), *Climate Change 2023 – Longer Report*. [Online] Available at: report.ipcc.ch/ar6syr/pdf/IPCC_AR6_SYR_LongerReport.pdf [Accessed 11 May 2024].

Malm, A. (2018), *The Progress of this Storm – Nature and Society in a Warming World*, Verso, New York/London.

McCarthy, F. M., Patterson, R. T., Head, M. J., Riddick,

N. L., Cumming, B. F., Hamilton, P. B., Pisaric, M. F., Gushulak, A. C., Leavitt, P. R., Lafond, K. M., Llew-Williams, B., Marshall, M., Heyde, A., Pilkington, P. M., Moraal, J., Boyce, J. I., Nasser, N. A., Walsh, C., Garvie, M. et alii (2023), “The varved succession of Crawford Lake, Milton, Ontario, Canada as a candidate Global boundary Stratotype Section and Point for the Anthropocene series”, in *The Anthropocene Review*, vol. 10, issue 1, pp. 146-176. [Online] Available at: doi.org/10.1177/2053019622114928 [Accessed 11 May 2024].

Rifkin, J. (2011), *The Third Industrial Revolution – How Lateral Power Is Transforming Energy, the Economy, and the World*, Palgrave MacMillan, New York.

Roubini, N. (2022), *Megathreats – The Ten Trends that Imperil Our Future, and How to Survive Them*, John Murray Press.

Secchi, B. (1984), “Le condizioni sono cambiate”, in *Casabella*, vol. 298-99, pp. 8-13.

Sloterdijk, P. (2024), *The Terrible Children of Modernity – An Antigenological Experiment*, Columbia University Press.

Subramanian, M. (2019), “Anthropocene now – Influential panel votes to recognize Earth’s new epoch”, in *Nature*, 21/05/2019. [Online] Available at: doi.org/10.1038/d41586-019-01641-5 [Accessed 11 May 2024].

Tarlet, J. (1999), *La planification écologique – Méthodes et techniques*, Economica, Paris.

Tubbesing, T. (2018), *Der Wettbewerb Gross-Berlin 1910 – Die Entstehung einer modernen Disziplin Städtebau*, Wasmuth Verlag, Berlin.

UN – United Nations (2015), *Paris Agreement*. [Online] Available at: unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf [Accessed 11 May 2024].

von Uexküll, J. J. (1909), *Umwelt und Innenwelt der Tiere*, Verlag von Julius Springer, Berlin.

WMO – World Meteorological Organisation (2023), *The Global Climate 2011-2020 – A Decade of Accelerating Climate Change*, WMO-1338. [Online] Available at: library.wmo.int/idurl/4/68585 [Accessed 11 May 2024].

Zhong, R. (2024), “We’re in the Same (Very) Old Epoch”, in *The New York Times*, newspaper, 20/03/2024, p. 8.

ARTICLE INFO

Received 29 March 2024
 Revised 19 April 2024
 Accepted 29 April 2024
 Published 30 June 2024

HYDROGEN VALLEYS

Scenari di transizione energetica e sviluppo locale per città medie

HYDROGEN VALLEYS

Energy transition and local development scenarios for medium-sized cities

Alessandra Battisti, Angela Calvano

ABSTRACT

Nell'attuale scenario di decarbonizzazione, produzione, trasporto e consumi di energia investono la dimensione territoriale delle comunità mentre il carattere di prossimità delle fonti rinnovabili e degli impianti di generazione diffusa consentono di ridefinire il legame socio-spaziale con l'energia. Si tratta di una deterritorializzazione da dismissione di impianti alimentati da fonti fossili, ri-territorializzazione per conversione di aree industriali in disuso e costruzione di una catena di valore fondata sulla neutralità climatica. Il progetto di rigenerazione del patrimonio territoriale, reinterpretato dalle comunità insediate come potenziale rete energetica, risponde alle esigenze del New Deal, garantendo energia sicura ed equa. Obiettivo del paper è comprendere come le città medie possano contribuire alla sperimentazione di processi decisionali e soluzioni progettuali a idrogeno.

In the current decarbonisation scenario, production, transport and energy consumption affect the territorial dimension of communities, while the proximity character of renewable sources and distributed generation systems make it possible to redefine the socio-spatial link with energy. This involves deterritorialisation by decommissioning fossil fuel systems, re-territorialization by converting brownfield sites and constructing a value chain based on climate neutrality. The project of territorial heritage regeneration, reinterpreted by settled communities as a potential energy network, meets the needs of the New Deal by guaranteeing secure and equitable energy. The paper aims to understand how medium-sized cities can contribute to the experimentation of decision-making processes and hydrogen design solutions.

KEYWORDS

neutralità climatica, rigenerazione territoriale, sistemi energetici locali, transizione energetica, idrogeno

climate neutrality, territorial regeneration, local energy systems, energy transition, hydrogen

Alessandra Battisti, Architect and PhD, is a Full Professor of Environmental Technological Design at the PDTA Department of the 'Sapienza' University of Rome (Italy). Her research focuses on technological innovation, ecological and energy efficiency, and the bioclimatic approach to design and environmental sustainability at the architectural, urban, and settlement levels. Mob. +39 339/77.39.471 | E-mail: alessandra.battisti@uniroma1.it

Angela Calvano, Architect, is a PhD Candidate at the PDTA Department of the 'Sapienza' University of Rome (Italy). Her research investigates the technological-environmental management of innovative processes according to a multi-scalar approach of cities, urban districts and architecture oriented to carbon neutrality. Mob. +39 340/25.97.471 | E-mail: angela.calvano@uniroma1.it



La domanda energetica e i flussi derivanti da fonti di produzione di energia hanno sempre caratterizzato l'ambiente costruito nella sua evoluzione storica, richiedendo soluzioni progettuali e tecnologiche innovative che al momento attuale definiscono i contorni di un'era di transizione energetica globale in continua trasformazione, fenomeno dovuto anche alle varie crisi sanitarie, geopolitiche ed economiche susseguitesi dall'inizio del nuovo millennio. Di fronte a questi imprevisti è emerso con chiarezza che l'equità e l'inclusione sociale nell'impiego dell'energia costituivano un tema di riflessione sulla riallocazione delle risorse e sull'implementazione di misure per garantire sicurezza energetica e accessibilità economica di materia ed energia.

La sicurezza e l'approvvigionamento da altre fonti – rispetto a quelle oggi non più garantite dalla Russia – in questo senso ha costituito un'opportunità per differenziare le forniture e diversificare il mix energetico verso le fonti rinnovabili, comprendendo forme più ampie di energia pulita che presuppongono anche una maggiore attenzione ai contesti normativi e finanziari, anche se a oggi, a causa della sempre crescente richiesta di energia, le fonti rinnovabili non sono ancora in grado di sostituire i consolidati sistemi di produzione energetica.

Attraverso la riflessione sul concetto di Hydrogen Valley nella transizione verso un'economia a basse emissioni di carbonio e sviluppo locale, il paper ha l'obiettivo di comprendere come le città medie possano beneficiare e contribuire all'implementazione di iniziative a idrogeno. Il contributo è articolato su una prima parte che ha l'obiettivo di introdurre e definire il quadro concettuale e teorico di riferimento nelle politiche europee e italiane; una seconda parte espone una prospettiva di indagine innovativa che individua le città di medie dimensioni come driver per la decarbonizzazione e per la transizione energetica ponendo l'accento su una panoramica storica e concettuale dell'uso dell'idrogeno come fonte energetica ed evidenziandone sfide e opportunità legate alla sua produzione e impiego; una terza parte enfatizza il coinvolgimento degli stakeholder e la necessità di adeguati modelli di governance locale dei progetti a idrogeno verso modello energetico sostenibile, distribuito e partecipativo, delineando l'opportunità offerta dalla rigenerazione del patrimonio produttivo dismesso e focalizzandosi su logiche di consumo di suolo zero e processi di retro-innovazione; infine si riassumono i principali risultati dell'indagine, indicando le aree che richiedono ulteriori approfondimenti e sviluppi.

Politiche europee | Con l'approvazione del Green Deal Europeo nel dicembre 2019, la Commissione Europea ha definito un insieme di misure in risposta alle sfide dettate dai cambiamenti climatici che si sono tradotte in strategie di crescita per costruire un futuro più equo, sano e sostenibile per le generazioni future, efficiente sotto il profilo delle risorse ed economicamente competitivo, al fine di rendere il continente climaticamente neutro entro il 2050 (European Commission, 2019). La Strategia Europea di Lungo Termine (European Commission, 2018a) prevede infatti il raggiungimento della Carbon Neutrality al 2050, attraverso un aumento dell'efficienza energetica e della generazione elettrica rinnovabile, una crescita del-

l'elettrificazione degli usi finali, un calo dei consumi di petrolio e carbone, una contrazione delle importazioni di gas naturale e l'aumento dei consumi di biometano e idrogeno prodotti nei Paesi dell'Unione Europea.

Tra le iniziative comprese nell'ambito del Green Deal Europeo, il pacchetto 'Fit for 55' (European Commission, 2018b) mira a tradurre la normativa in proposte concrete, rivedendo l'apparato legislativo in materia di clima, energia e trasporti e allineando l'Unione Europea agli obiettivi climatici di riduzione delle emissioni nette di gas a effetto serra di almeno il 55% entro il 2030, rispetto ai livelli del 1990. Nella Strategia Europea dell'Idrogeno (European Commission, 2021) è prevista la diffusione di idrogeno rinnovabile nel lungo periodo attraverso idrogeno verde prodotto con elettrolisi alimentata da fonti rinnovabili o mediante reforming di biogas conforme ai requisiti di sostenibilità e idrogeno low-carbon o idrogeno blu, ottenuto dal reforming del gas naturale e combinato con Carbon Capture and Storage (CCS), da rifiuti o da altre tecnologie basso emissive (Noussan et alii, 2021). Resta completamente escluso invece l'idrogeno grigio, da combustibili fossili senza CCS e con un impatto rilevante a livello emissivo, che rappresenta la maggior parte dell'idrogeno prodotto al momento attuale (Fig. 1).

Il nuovo assetto normativo delineato consente da un lato di intravedere un quadro di sviluppo basato sulla comunità del mercato energetico europeo, coerentemente al Clean Energy for All European Package (European Commission, 2016), dall'altro di definire opportuni quadri giuridici per la diffusione di impianti FER, valorizzando le filiere produttive locali e l'introduzione del vettore energetico idrogeno all'interno del panorama delle possibili soluzioni energetiche sostenibili adoperabili, in particolare per i settori 'hard-to-abate' (industria e trasporti) considerati i più difficili da decarbonizzare e per i quali tale operazione può essere perseguita unicamente attraverso un approccio energetico differenziato (Paltsev et alii, 2021).

Coerentemente agli obiettivi di decarbonizzazione di medio e lungo periodo e alla configurazione di un sistema energetico integrato, la Strategia Europea sull'Idrogeno (European Commission, 2021) e il Piano REPowerUE (European Commission, 2022) hanno delineato un quadro completo a sostegno della produzione di idrogeno rinnovabile che farà parte del sistema energetico del futuro insieme all'elettrificazione basata sulle rinnovabili e a un uso più efficiente e circolare delle risorse. Entro il 2050 l'idrogeno rinnovabile troverà applicazione su scala sempre più ampia: da cluster locali a hub territoriali Hydrogen Valleys intesi come comunità di produzione locale di idrogeno da fonti energetiche rinnovabili decentralizzate, di stoccaggio, di trasporto a breve distanza e di utilizzo dello stesso per scopi finali diversificati (IEA, 2019).

Il panorama globale delle Hydrogen Valleys allo stato attuale si presenta come eterogeneo e in costante evoluzione e definisce principalmente tre categorie (Fig. 2) di archetipo (Weichenhan et alii, 2022): archetipo 1) incentrato su mobilità locale a piccola scala e che combina gli sforzi di decarbonizzazione associati a varie flotte di mobilità regionale attraverso la costruzione di stazioni di rifornimento di idrogeno usate congiuntamente come centrali di produzione (Genovese, Piraino and

Fragiacomo, 2024); archetipo 2) focalizzato sulla decarbonizzazione del comparto industriale, che si basa sulla produzione di idrogeno direttamente nei siti industriali, attorno al quale si innesta il sistema della mobilità a idrogeno; archetipo 3) caratterizzato da produzione locale e connesso ai centri di domanda e offerta su larga scala, che fa riferimento a progetti tipicamente co-localizzati con capacità aggiuntive dedicate alle energie rinnovabili (Karjunen et alii, 2022).

La Strategia Europea sull'Idrogeno non solo definisce il percorso comune europeo per incentivare l'uso dell'idrogeno soprattutto nei settori industriali 'hard-to-abate', ma guarda in prospettiva anche ad altri ambiti, come quelli che interessano di più il settore edilizio, quali il riscaldamento degli edifici residenziali e commerciali dove l'impiego dell'idrogeno viene posto appunto in relazione allo sviluppo delle Hydrogen Valleys (Fig. 3).

La Strategia Europea inoltre definisce una tabella di marcia, suddivisa in tre fasi, lungo cui stabilire una traiettoria di sviluppo graduale per l'idrogeno. In una prima fase, in atto, compresa tra il 2020 e il 2024 l'Unione Europea sta decarbonizzando l'attuale produzione di idrogeno. Durante la seconda fase, compresa tra il 2025 e il 2030, l'idrogeno verde dovrebbe diventare una parte sostanziale del sistema energetico europeo; in questa fase l'idrogeno potrebbe già avere mercato sufficiente per sviluppare una domanda industriale, come nel settore della siderurgia, ampliarne l'uso nei trasporti pesanti e bilanciare i sistemi elettrici basati sulle rinnovabili, anche con lo sviluppo di cluster ed ecosistemi regionali autonomi costituiti dalle Hydrogen Valleys. Infine nella terza fase, dal 2030 al 2050, le tecnologie per l'idrogeno verde dovrebbero essere mature a sufficienza per uno sviluppo su larga scala, contribuendo in modo sostanziale alla decarbonizzazione dell'Unione Europea entro il 2050.

Inoltre, insieme alla Strategia sull'Idrogeno, la Commissione ha lanciato la Strategia per l'integrazione del sistema energetico, Powering a Climate-neutral Economy – An EU Strategy for Energy System Integration (European Commission, 2020), che inizialmente era previsto includesse anche la Strategia per l'Idrogeno: essa si basa su cinque pilastri (efficienza energetica, elettrificazione della domanda, uso di combustibili rinnovabili, adattamento mercati energetici e diversificazione delle fonti), con l'obiettivo di gestire la pianificazione e il funzionamento coordinato del sistema energetico nel suo insieme, attraverso tutta la catena del valore (vettori energetici, infrastrutture e consumatori).

Politiche italiane | Sulla base delle indicazioni europee il Piano Nazionale Integrato Energia e Clima – PNIEC (MASE, 2023b) rappresenta la proposta italiana di strategia energetica nazionale per raggiungere gli obiettivi di efficienza, riduzione delle emissioni di CO₂ e sviluppo delle fonti rinnovabili, tale da coprire il 40% dei consumi finali nel 2030. Oltre che tracciare le dinamiche evolutive degli scenari energetici nazionali al 2050, il Piano pone attenzione al tema della sicurezza energetica, della tutela dell'ambiente e dell'accessibilità dei costi dell'energia delineando un nuovo ruolo dell'idrogeno nel raggiungimento degli obiettivi nazionali con l'identificazione del potenziale impiego in diversi ambiti territoriali e di produzione.

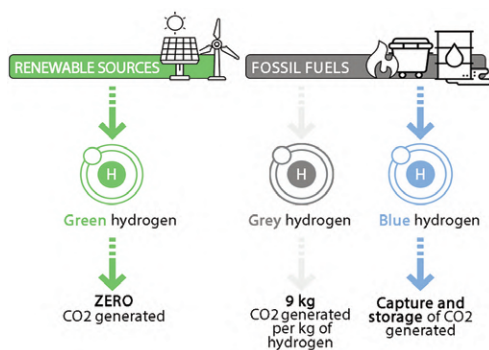


Fig. 1 | Hydrogen classification: type and characteristics (source: GEA ETS, 2021; adapted by the Authors).

Nel ruolo di vettore energetico l'idrogeno, oltre che garantire la decarbonizzazione dei settori 'hard-to-abate' e dei trasporti, potrà abilitare alcune funzioni aggiuntive quali accumuli di larga scala e su periodi decennali e il trasporto di grandi quantità di energie su lunghe distanze, favorendo lo sviluppo di un sistema energetico diffuso sul territorio con elevati livelli di resilienza (MASE, 2023b). In questa direzione l'attuale normativa italiana comprende l'idrogeno tra le misure e gli investimenti, previsti dal Piano Nazionale Ripresa e Resilienza – PNRR (MIMIT, 2023), volti a promuovere lo sviluppo della filiera su base locale e l'impiego di idrogeno nell'industria, nelle piccole medie imprese (PMI) e nel trasporto locale, a partire dalla creazione di Hydrogen Valleys con l'obiettivo duplice di rigenerare le aree industriali dismesse riabilitandole come unità sperimentali per la produzione di idrogeno da impianti FER, ubicati all'interno delle ex fabbriche o in aree limitrofe, e favorire al contempo la ripresa delle economie locali (Fig. 4).

Bandi nazionali e regionali, importanti Progetti di Comune Interesse Europeo (IPCEI) e/o investimenti privati costituiscono le principali categorie di finanziamento, restituendo un portfolio di iniziative con lo scopo di supportare industrie, autorità e decisori politici nel rafforzare i progetti esistenti e previsti sull'idrogeno e, allo stesso tempo, favorire lo sviluppo di nuovi (Gandiglio and Marocco, 2024).

Il potenziale impiego dell'idrogeno illimitato, ecologico e versatile – formalmente introdotto con il Decreto Legislativo 8 novembre 2021 n. 199 che recepisce la Direttiva Europea EU/2018/2001 (European Parliament and Council of the European Union, 2018), modificata dalla Direttiva EU/2023/2413 (European Parliament and Council of the European Union, 2023), e i due Regolamenti delegati EU/2023/1184 e EU/2023/1185 (European Commission, 2023a, 2023b) – si scontra con tangibili difficoltà legate allo sviluppo e all'utilizzo commerciale di tale vettore energetico, dovute agli elevati costi di produzione, a una non sufficiente maturazione tecnologica di settore e ad alcune lacune infrastrutturali (Confindustria, 2020, 2021).

Nell'attuale panorama energetico le Hydrogen Valleys – definite come hub ed ecosistemi territoriali di idrogeno prodotto a partire dalla valorizzazione delle risorse rinnovabili disponibili in loco – assumono un carattere sperimentale, configurate all'interno di aree produttive strategiche, quali siti già in possesso di un collegamento alla rete elettrica e collocati in posizione chiave per essere a

disposizione degli utenti finali del vettore (Ficco et alii, 2022). Sebbene molti progetti dimostrativi¹ abbiano già registrato esiti interessanti, le singole tecnologie dell'idrogeno – isolate o di applicabilità limitata – necessitano ancora di essere impiegate e studiate su larga scala, così come necessitano della definizione di linee guida legislative e di regole amministrative, nonché di azioni di informazione volte a promuoverne l'accettazione pubblica, individuare tecnologie abilitanti, sviluppare modelli aziendali e azioni di trasferimento di conoscenze e di formazione di nuove figure professionali.

Città medie come driver per la decarbonizzazione

Gli sviluppi economici, sociali e ambientali necessitano di essere inquadrati in una specifica dimensione territoriale e dipendono da una serie di risorse territoriali, naturali e umane. Al fine di definire strategie di sviluppo locale, mirate e ambientalmente attente, e comprendere e quantificare l'impatto delle stesse, tale diversità geospaziale diventa elemento cardine e al tempo stesso di complessità. La pandemia da Covid-19 se da un lato ha posto le grandi città davanti alla necessità di un loro ripensamento che metta a sistema sostenibilità ecologica, sociale ed economica, dall'altro ha portato alla ribalta in Italia la vivibilità delle città medie, non solo perché caratterizzate dalla compresenza di spazi ibridi tra rurale e urbano, che esprimono già elevati caratteri di sostenibilità, ma soprattutto perché qui risiede il 68,3% della popolazione italiana, percentuale molto più elevata della media europea (ISTAT, 2022), tutte caratteristiche che le rendono luoghi ideali dove raggiungere i target di riduzione delle emissioni climalteranti (Bernabò, 2022).

Seguendo l'impianto metodologico a base del quadro comparativo globale per misurare l'urbanizzazione di un territorio lungo un continuum urbano-rurale² (UNSC, 2020), l'Eurostat definisce le 'città a densità intermedia', o più semplicemente 'città medie', una tipologia territoriale di base di unità amministrative locali a metà strada tra una città e una zona rurale: essere in grado di confrontarsi con tale dimensione significa tenere conto delle complementarità e delle interdipendenze tra le diverse categorie di contesto e far emergere le varie peculiarità locali (European Commission – Eurostat, 2019).

Tali realtà territoriali sono interessate da trasformazioni economiche e sociali che vanno dalla de-ruralizzazione e crescita industriale al declino e relativo spopolamento, dall'emarginazione alla promozione dell'innovazione delle risorse culturali locali, del turismo e dell'agricoltura di qualità. In tal senso progettare la rigenerazione delle città medie non significa operare in termini di comparazione rispetto alle grandi città, quanto far emergere la loro capacità di rispondere alla policy con un atteggiamento positivo nei confronti della 'cityness' (Garrett-Petts, 2005). Infatti, dotate intrinsecamente di una dimensione trasformativa che indica la capacità di un sistema e dei suoi attori di cambiare la propria struttura organizzativa e creare le condizioni per promuovere lo sviluppo, le città di media dimensione si stanno orientando verso pratiche generative, enfatizzando visioni di scenari di trasformazione dinamica e forme di auto-organizzazione territoriale (Mayer and Lazzeroni, 2022). La spinta generativa è anche strettamente legata alla promozione di fattori legati al

contesto, attraverso l'identificazione delle attività caratterizzanti e la valorizzazione delle competenze chiave e delle risorse locali.

La Organization for Economic Co-operation and Development (OECD, 2020) assegna alle città medie un ruolo essenziale nel raggiungimento degli SDGs delle Nazioni Unite (UN, 2015) entro il 2030 – sottolineando come il 65% dei quali non potrà essere realizzato senza il loro pieno coinvolgimento – poiché specialmente adatte a favorire lo sviluppo locale in modo integrato agli obiettivi di natura ambientale. Per ottenere tutto questo c'è bisogno di: a) un sostegno alla produzione di idrogeno pulito e a basse emissioni di CO₂ in grado di supportare lo sviluppo di economie di scala; b) un coordinamento nell'incentivazione alla produzione e alla domanda per favorire un mercato a idrogeno; c) un chiaro quadro normativo che definisca lo sviluppo dell'offerta, della domanda e delle infrastrutture della filiera; d) un sistema di regolamenti sulla sicurezza tecnica di tutta la filiera dell'idrogeno.

Generazione a idrogeno

Nel suo famoso libro dal titolo Economia all'Idrogeno, la cui prima edizione ha oltre venti anni, Jeremy Rifkin (2014) nell'identificare l'idrogeno come fonte energetica rivoluzionaria, inesauribile e pulita si poneva necessariamente il problema della sua produzione. La vera domanda è se sia possibile impiegare forme di energia alternative, rinnovabili e non appartenenti alla famiglia degli idrocarburi – come quella fotovoltaica, eolica, idroelettrica e geotermica – per generare elettricità da utilizzare nel processo elettrolitico di produzione; inoltre lo sviluppo dei nuovi campi di applicazione deve andare di pari passo con l'aumento stesso della produzione di idrogeno. Si iniziano a definire all'orizzonte i principali mercati, quello delle applicazioni industriali – acciaierie, raffinerie e cementifici – e delle infrastrutture di mobilità legate al trasporto di merci e di persone.

Quando la risorsa sarà entrata con più abbondanza nel mercato energetico l'idrogeno potrà diffondersi nel riscaldamento degli edifici e nella generazione di energia elettrica in blend con gas naturale, abilitando anche il 'sector coupling' fra reti elettriche e gas – P2H (IRENA Coalition for Action, 2022). Nei prossimi anni si assisterà a una forte trasformazione nel settore dell'elettricità e l'idrogeno potrebbe essere impiegato per accumulare la sovrapproduzione rinnovabile nella rete; anche la produzione di energia elettrica negli impianti termoelettrici attualmente alimentati a gas potrebbe essere in futuro convertita a idrogeno.

Nell'attuale scenario energetico la possibilità di ottenere idrogeno rinnovabile da una generazione distribuita, ovvero di un sistema di produzione di energia elettrica decentrato in cui l'energia viene prodotta da diverse fonti in piccola scala, rende compatibile tale soluzione con la dimensione locale, sebbene gli elevati consumi di energia elettrica e i costi ad essi associati rendano questa tecnologia ancora poco appetibile (Cova and Migliorini, 2021). Per raggiungere gli ambiziosi obiettivi della Strategia Nazionale sull'Idrogeno – SNI (MASE, 2020) si evidenzia la sfida relativa alla potenza installata degli elettrolizzatori al fine di massimizzare le potenzialità del vettore energetico per ulteriori usi finali; in tal modo si consentirebbe l'allocatione di una considerevole capacità di impianti FER esclusivamente per la produzione di

idrogeno, rendendo necessaria la disponibilità di ampie superfici per l'installazione degli stessi.

Inoltre il contributo delle Hydrogen Valleys alla sicurezza energetica sottintende la possibilità di disporre di materie prime, non solo per la produzione di energia solare fotovoltaica e turbine eoliche, ma anche per la generazione di idrogeno (Reit-sma, 2023): non si può trascurare il notevole utilizzo di acqua necessaria alla produzione di grandi quantità di idrogeno verde, fatto che potrebbe porre limiti alla localizzazione dei progetti, in considerazione delle condizioni di contesto attuali e future da osservare sotto la lente dei cambiamenti climatici, che rischiano di modificare drammaticamente la disponibilità della risorsa acqua (Setti and Sandri, 2022).

Relazioni socio-spaziali | La tecnologia della cella a combustibile alimentata a idrogeno, intesa come macchina non inquinante per la produzione di energia elettrica, viene considerata da Rifkin la panacea di tutti i mali. Trattandosi di un micro-impianto installabile presso l'utente finale, essa consentirebbe di ribaltare il modello energetico gerarchico e centralizzato per dare luogo a una rete distribuita di produttori-consumatori-scambiatori di energia, di prosumer e consumer (Fig. 5). Condizione necessaria per questo possibile assetto è il supporto delle Istituzioni pubbliche allo sviluppo della rete che garantirebbe un accesso indifferenziato all'energia e una redistribuzione del potere

decisionale in materia energetica, attraverso attività dal basso e con una partecipazione diffusa (Vezzoni, 2024).

Di fatto, nell'attuale scenario di decarbonizzazione, il sistema energetico sta evolvendo verso una nuova dimensione policentrica e diffusa sui territori. La produzione, il trasporto e i consumi di energia infatti investono a tal punto e direttamente la dimensione territoriale delle comunità e il carattere di prossimità delle risorse rinnovabili e degli impianti di generazione diffusa che consentono di ridefinire il legame socio-spaziale con l'energia, riassegnando alle comunità locali il ruolo e la possibilità diretta di gestione delle risorse e degli spazi energetici, con la possibilità di rileggere l'energia come elemento portatore di innovazione sociale e promotore di sviluppo locale (European Commission – Joint Research Centre, 2020).

L'evoluzione verso le Hydrogen Valleys può essere considerata come una progressione nella transizione verso un sistema energetico sempre più sostenibile, sicuro e basato sulle energie rinnovabili; essa implica il passaggio dalla dimensione locale – propria delle Comunità Energetiche Rinnovabili (CER) – a una scala più grande (Tab. 1), richiedendo investimenti aggiuntivi e partenariati strategici e una visione a lungo termine per la trasformazione dell'intero ecosistema energetico, nonché una integrazione multi-settoriale e una collaborazione multi-stakeholder (Skaloumpakas et alii, 2024). L'attivazione di processi di formaliz-

zazione e coinvolgimento delle diverse categorie di stakeholder che mobilitano il sistema economico locale includendo un'economia a idrogeno – secondo approcci di tipo top-down e anche bottom-up – alimenta coesione sociale e al tempo stesso attribuisce 'valore aggiunto' per nuove condizioni di investimento (MASE, 2023a).

In quest'ottica l'identificazione degli attori-chiave da coinvolgere e dei rispettivi ruoli permette di costruire una politica d'intervento complessiva, di strutturare adeguati modelli di governance locale, attraverso il riconoscimento delle potenzialità intrinseche, ottimizzando situazioni e infrastrutture e affrontando i nodi critici a partire da conoscenza e consapevolezza delle dinamiche territoriali soggiacenti (Battisti and Tucci, 2015).

La generazione distribuita di energia si pone come attivatore di una rinnovata coscienza di luogo, attraverso il coinvolgimento degli attori locali nell'individuazione e nell'uso appropriato delle risorse energetiche territoriali. Si assiste così a un processo di deterritorializzazione, legato alla dismissione di impianti alimentati da fonti fossili, e di ri-territorializzazione, attraverso la conversione del patrimonio produttivo dismesso e la relativa costruzione di una nuova catena di valore fondata sull'impiego delle energie rinnovabili.

Patrimonio territoriale | Con l'ingresso del concetto di 'patrimonio'³ nel campo delle scienze territoriali esso assume una connotazione geografica

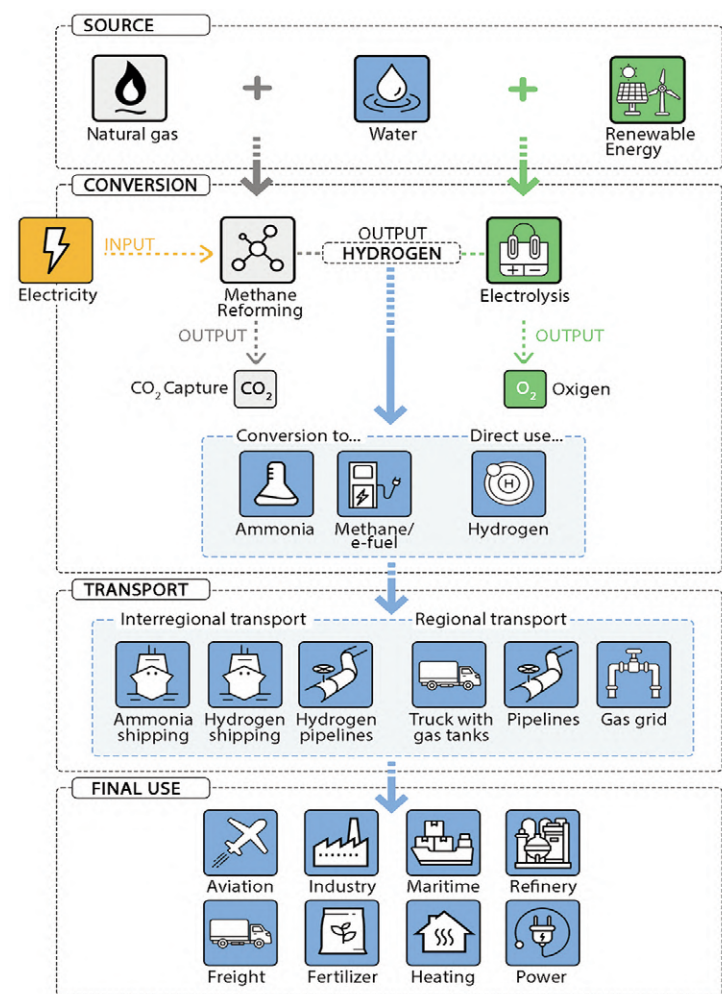
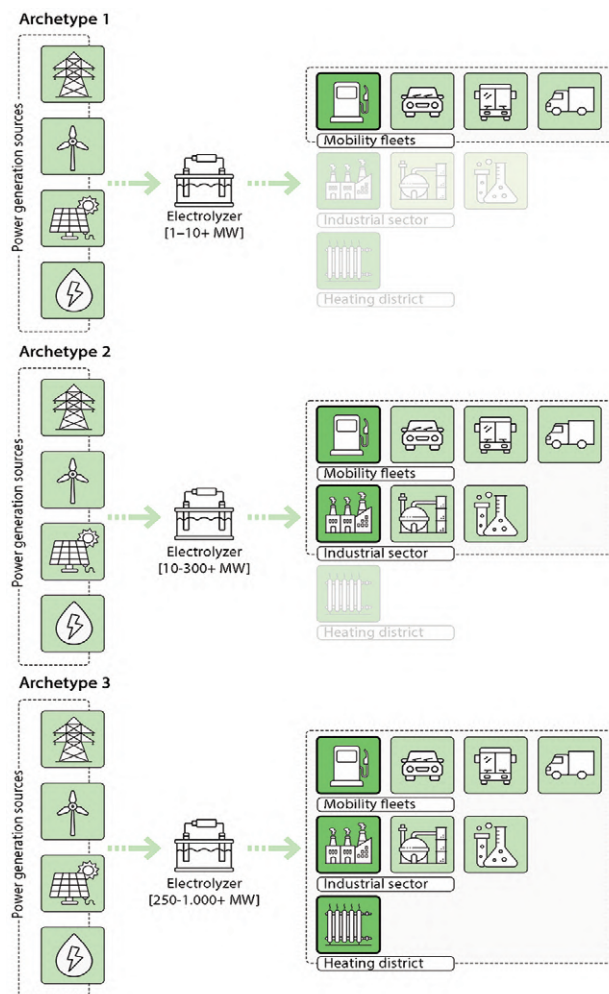


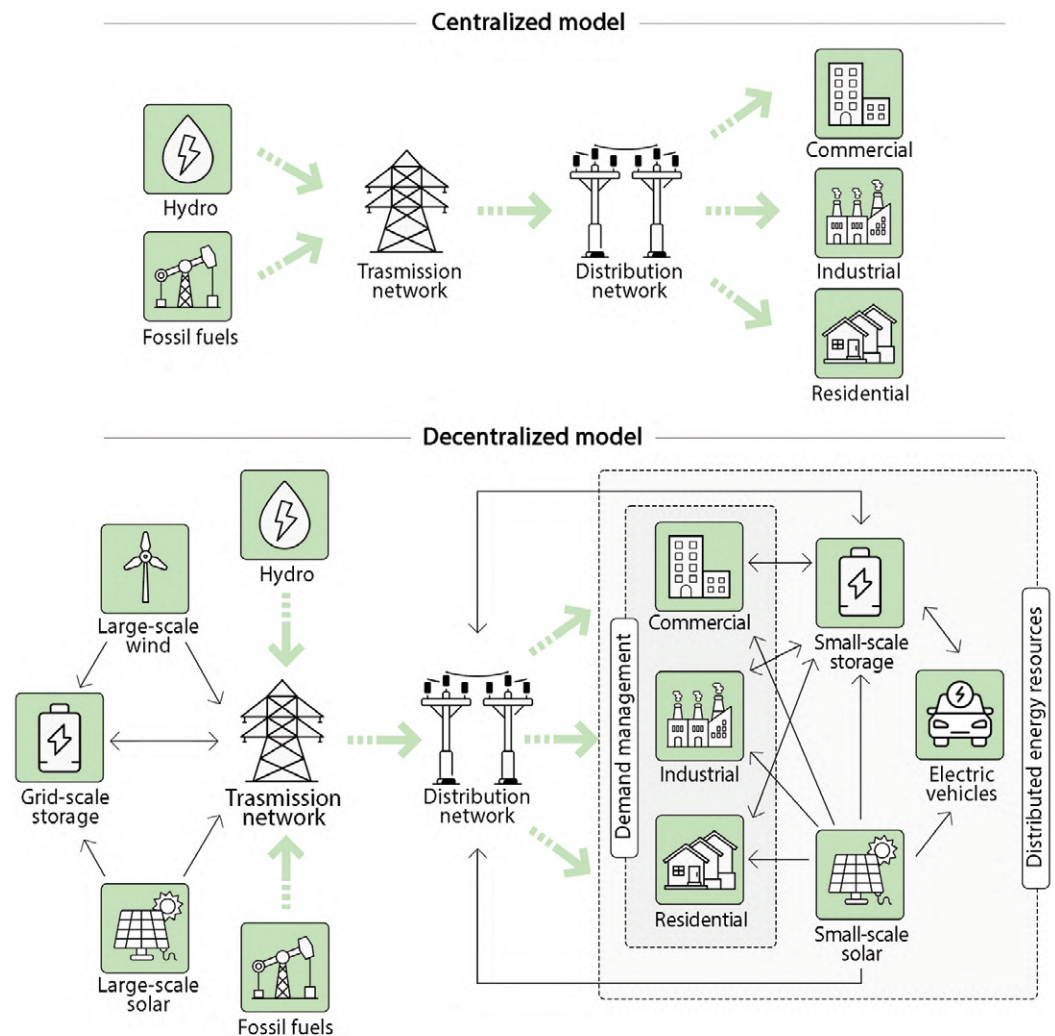
Fig. 2 | Classification of Hydrogen Valleys according to archetypes (source: Weichenhan et alii, 2022; adapted by the Authors).

Fig. 3 | Hydrogen value chain (source: World Bank Group, 2022; adapted by the Authors).



Fig. 4 | Mapping of green hydrogen production proposals on brownfield sites in the framework of the National Recovery and Resilience Plan (credit: the Authors, 2024).

Fig. 5 | Transition from the centralised to the decentralised generation model (source: Mezel, 2018; adapted by the Authors).



non solo in qualità di elementi puntuali, ma d’insieme e viene riletto come processo di evoluzione interdipendente tra natura e cultura. In particolare la valorizzazione del patrimonio si fa carico di un duplice scopo: da un lato è finalizzata allo sviluppo economico tramite la connessione a economie di scala, dall’altro il patrimonio, inteso come risorsa di lunga durata, si inserisce in una rete identitaria di attori locali in grado di abilitare il riconoscimento sociale della risorsa stessa. Ciò fa emergere una modalità di sviluppo locale alternativo, non più orientato alla produttività competitiva, piuttosto a creare reti e relazioni di prossimità (Pica et alii, 2024).

In questa prospettiva, il progetto di rigenerazione del patrimonio territoriale, che può essere reinterpretato dalle comunità insediate come potenziale produttore di energia in una visione olistica, risponde contemporaneamente all’esigenza di produzione energetica a impatto zero e di sicurezza energetica, combinando trasformazione fisica, produzione di beni e servizi per la collettività, attivazione di nuove forme di partnership e partecipazione e generazione di valori e beni comuni in ottica di uno sviluppo locale sostenibile (Kostešić, Vukić and Vukić, 2019). In particolare il progetto di rigenerazione del patrimonio produttivo dismesso, fondato su logiche di consumo di suolo zero e su processi di retro-innovazione⁴ volti a rispondere ai problemi indotti dal cambiamento climatico, costituisce un’opportunità per la comunità locale di interpretare questa risorsa per potenziali utilizzi futuri e di definire strategie che, a partire dalla comprensione delle sue regole di ri-

produzione, apportano valore aggiunto alla collettività (Arbab and Alborzi, 2022).

Conclusioni | Le politiche di neutralità climatica a lungo termine comporteranno un cambio di paradigma nel settore energetico, con implicazioni profonde sotto il profilo della sicurezza, dell’equità, della sostenibilità energetica, del fabbisogno infrastrutturale e della gestione delle fonti e dei vettori energetici.

Il concetto di Hydrogen Valley fa riferimento a un sistema integrato su base territoriale che copre l’intera catena di valore dell’idrogeno, collegando produzione, stoccaggio e trasporto a un’ampia gamma di usi finali e di settori di uso. In questo quadro le aree dismesse si configurano come luoghi ideali poiché potenzialmente dotate dello spazio necessario alla produzione FER per alimentare gli impianti di generazione a idrogeno, rispondendo anche al principio di consumo di suolo zero, un’operazione questa che offre opportunità di conversione delle infrastrutture esistenti, rigenerando le suddette aree, trasformandole in centri di innovazione tecnologica, economica e sociale e di investimenti, creazione di posti di lavoro e sviluppo economico locale.

Concepite come hub di cooperazione tra governi, settore privato, Istituzioni accademiche e comunità locali, tali iniziative favoriscono l’adozione di approcci integrati e la condivisione di risorse, conoscenze ed esperienze. Sebbene diverse per natura in funzione delle esigenze determinate dal progetto, le Hydrogen Valleys presentano carat-

teristiche comuni che riguardano la produzione di idrogeno – centralizzata o distribuita – prevalentemente da fonti energetiche rinnovabili e il trasporto attraverso infrastrutture fisse, nonché via terra e via mare; inoltre seppure i casi pilota si registrano in contesti territoriali eterogenei, gli ambiti di media dimensione costituiscono una invariante che favorisce la creazione di autonomia energetica e ne facilitano la gestione (Majka et alii, 2023).

In questa prospettiva la dimensione di città media offre un terreno fertile per lo sviluppo di iniziative orientate a un’economia all’idrogeno, in grado di coniugare una dimensione ideale che facilita le attività di coordinamento e implementazione di progetti pilota e infrastrutture a idrogeno su base locale fino alla sperimentazione di nuove tecnologie e modelli di business. La cooperazione locale favorisce la creazione di partenariati strategici grazie al forte senso di coesione rendendo possibili pratiche alternative difficilmente attuabili in grandi contesti urbani.

Tuttavia un quadro normativo inadeguato, investimenti e costi elevati sono ad oggi le principali barriere alla competitività del vettore energetico e lo sviluppo di soluzioni progettuali su scala più ampia (Vivanco-Martín and Iranzo, 2023). In aggiunta l’idrogeno presenta ancora diversi percorsi di sviluppo inesplorati in funzione delle modalità di produzione, trasporto e stoccaggio. La ricerca di settore dovrebbe dedicare un ulteriore approfondimento all’utilizzo dell’idrogeno nel settore residenziale dal quale potrebbe giungere una significativa spinta alla filiera visto che, al 2020,

esistevano in Italia circa 20 milioni di impianti a gas per riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria. Nel PNIEC italiano si assegna solo un ruolo 'marginale' all'uso residenziale dell'idrogeno, spingendo verso l'elettrificazione, non considerandone gli sviluppi futuri possibili; infatti l'idrogeno sostenibile, come tutti i green gas in generale, rappresenta una tangibile possibilità per decarbonizzare un edificio già dotato della rete di distribuzione del gas, utilizzando, almeno parzialmente, infrastrutture esistenti e riducendo gli investimenti necessari atti a limitare l'impatto ambientale complessivo.

Energy demand and flows from energy production sources have always characterised the built environment in its historical evolution, requiring innovative design and technological solutions that currently define the contours of an ever-changing era of global energy transition, a phenomenon also due to the various health geopolitical and economic crises that have followed one another since the beginning of the new millennium. In the face of these unforeseen events, it became clear that equity and social inclusion in energy use were a topic of reflection on the reallocation of resources and the implementation of measures to ensure energy security and affordability of matter and energy.

Security and supply from other sources – as opposed to those no longer guaranteed by Russia – in this sense has been an opportunity to differentiate supplies and diversify the energy mix toward renewables, encompassing broader forms of clean energy that also presuppose greater attention to regulatory and financial frameworks, although to date, due to the ever-increasing demand for energy, renewables are not yet able to replace established energy production systems.

The paper aims to understand how medium-sized cities can benefit and contribute to implementing hydrogen initiatives by reflecting on the Hydrogen Valley concept in the transition towards a low-carbon economy and local development. The paper is articulated in the first part introducing and defining the conceptual and theoretical framework of reference in European and Italian policies; the second part presents an innovative investigative perspective that identifies medium-sized cities as drivers for decarbonisation and energy transition by emphasising a historical and conceptual overview of the use of hydrogen as an energy source and highlighting challenges and opportunities related to its production and use; the third part emphasises the involvement of stakeholders and the need for adequate local governance models of hydrogen projects towards a sustainable, distributed and participatory energy model, outlining the opportunity offered by the regeneration of decommissioned production assets and focusing on zero land consumption and retro-innovation processes; finally, the main results of the survey are summarised, indicating the areas that require further investigation and development.

European policies | With the European Green Deal endorsed in December 2019, the European Commission defined a set of measures in response to the climate change challenges translated into growth strategies to build a more equitable, healthy

and sustainable future for the next generations; it is resource efficient and economically competitive, in order to make the continent climate neutral by 2050 (European Commission, 2019). The European Long-Term Strategy (European Commission, 2018a) envisions achieving Carbon Neutrality by 2050 through an increase in energy efficiency and renewable electricity generation, a growth in end-use electrification, a decline in oil and coal consumption, a contraction in natural gas imports, and an increase in the consumption of EU-produced biomethane and hydrogen.

Among the initiatives included as part of the European Green Deal, the 'Fit for 55' package (European Commission, 2018b) aims to translate legislation into concrete proposals, reviewing the climate, energy and transport legislative framework and aligning the EU with climate targets to reduce net greenhouse gas emissions at least 55% by 2030, compared to 1990 levels. The European Hydrogen Strategy (European Commission, 2021) provides for the deployment of renewable hydrogen in the long term through green hydrogen produced by renewable fuel electrolysis or by reforming biogas that meets sustainability requirements and low-carbon hydrogen or blue hydrogen obtained by reforming natural gas and combined with Carbon Capture and Storage (CCS), from waste or other low-emission technologies (Noussan et alii, 2021). However, grey hydrogen remains completely excluded from fossil fuels without CCS and with a significant emission impact, accounting for most of the hydrogen produced (Fig. 1).

The new regulatory framework outlined allows, on the one hand, to catch a glimpse of a community-based development framework for the European energy market, consistent with the Clean Energy for All European Package (European Commission, 2016), on the other, to define appropriate legal frameworks for the deployment of RES systems, enhancing local production chains, and the introduction of the hydrogen energy vector within the panorama of possible sustainable energy solutions that can be adopted, especially for the 'hard-to-abate' sectors (industry and transport) considered the most difficult to decarbonise and for which such an operation can only be pursued through a differentiated energy approach (Paltsev et alii, 2021).

Coherently with medium- and long-term decarbonisation goals and the shaping of an integrated energy system, the EU Hydrogen Strategy (European Commission, 2021) and the REPowerUE Plan (European Commission, 2022) have outlined a comprehensive framework to support renewable hydrogen production that will be part of the energy system of the future, along with renewable-based electrification and more efficient and circular use of resources. By 2050, renewable hydrogen will be applied on an increasingly large scale: from local clusters to territorial hub Hydrogen Valleys meant as communities of local hydrogen production from decentralised renewable energy sources, storage, short-distance transport, and use of it for diverse end purposes (IEA, 2019).

The global panorama of Hydrogen Valleys currently presents itself as heterogeneous and constantly evolving and defines mainly three categories (Fig. 2) of archetype (Weichenhan et alii,

2022): archetype 1) focused on small-scale local mobility and combining decarbonisation efforts associated with various regional mobility fleets through the construction of hydrogen refuelling stations jointly used as production plants (Genovese, Piraino and Fragiacomano, 2024); archetype 2) focused on the decarbonisation of the industrial sector, which is based on hydrogen production directly at industrial sites, around which the hydrogen mobility system is grafted; archetype 3) characterised by local production and connected to large-scale supply and demand centres, which refers to typically co-localized projects with additional capacities dedicated to renewable energies (Karjunen et alii, 2022).

The European Hydrogen Strategy not only defines the common European pathway for boosting the use of hydrogen especially in 'hard-to-abate' industrial sectors, but also looks forward to other sectors, such as those that affect the construction industry, such as heating of residential and commercial buildings where the use of hydrogen is precisely placed in relation to the development of Hydrogen Valleys (Fig. 3).

The European strategy also sets out a roadmap divided into three phases, establishing a phased development trajectory for hydrogen. In the first phase, which is ongoing between 2020 and 2024, the EU is decarbonising the current hydrogen production. During the second phase, between 2025 and 2030, green hydrogen is expected to become a substantial part of the European energy system; in this phase, hydrogen may already have a sufficient market to develop industrial demand, such as in the steel sector, expand its use in heavy transport, and balance renewable-based electricity systems, including with the development of autonomous regional clusters and ecosystems consisting of Hydrogen Valleys. Lastly, in the third phase, from 2030 to 2050, green hydrogen technologies should be mature enough for large-scale deployment, contributing substantially to the decarbonisation of the EU by 2050.

In addition, jointly with the Hydrogen Strategy, the Commission launched the Energy System Integration Strategy, Powering a Climate-neutral Economy – An EU Strategy for Energy System Integration (European Commission, 2020), which was initially planned to include the Hydrogen Strategy: it is based on five pillars (energy efficiency, electrification of demand, use of renewable fuels, adaptation of energy markets, diversification of sources), to manage the coordinated planning and operation of the energy system as a whole, across the entire value chain (energy carriers, infrastructure and consumers).

Italian policies | Based on European indications, the Italian Integrated Energy and Climate Plan (MASE, 2023b) represents Italy's proposal for a national energy strategy to achieve the goals of efficiency, reduction of CO₂ emissions and development of renewable sources such that 40% of final consumption is covered in 2030. In addition to tracing the evolutionary dynamics of national energy scenarios to 2050, the plan pays attention to the issue of energy security, environmental protection and energy affordability by outlining a new role for hydrogen to achieve national goals by identifying its potential use in different territorial and production areas.

Aspects	Similarities	Differences
Regulatory	<p>Renewable energy regulation Tax incentives for renewable energy production and use</p> <p>Regulations on energy production and distribution Power grid connection Safety of systems Network access tariffs Quality and safety requirements for the energy produced</p>	<p>Energy sources and technologies Specific regulations for hydrogen production, storage and distribution (safety and transportation regulations)</p> <p>Infrastructure and distribution networks Specific infrastructure for hydrogen production, storage, and distribution</p> <p>Certification and standardisation Certification of renewable energy production facilities and distribution infrastructure Guarantee of compliance with safety standards and for the quality of hydrogen produced and distributed</p>
	<p>Reducing energy costs Reducing energy bills Reducing energy costs by replacing fossil fuels with renewable sources</p>	<p>Implementation costs Initial investment in the installation of renewable energy production systems Investment in specific infrastructure for the production, storage and distribution of green hydrogen</p>
	<p>Local economy growth Job creation Reducing dependence on energy imports Creation of new income sources</p> <p>Reducing emissions and environmental costs Reducing greenhouse gas emissions and air pollution associated with fossil fuels</p> <p>Incentives and financial support Pilot project funding Tax relief</p>	<p>Operating costs Facility maintenance and management of local energy distribution networks Energy costs for electrolysis and maintenance costs for hydrogen infrastructure</p> <p>Economic benefits Creation of new job opportunities in the hydrogen industry and diversification of the local economy</p>
Social	<p>Community engagement Active involvement of local communities in decision-making and project implementation</p>	<p>Community engagement Community engagement and participation activities in renewable energy production, management and sharing Awareness programs and public involvement projects to promote the social acceptability of hydrogen</p>
	<p>Equity and social inclusion Equal access to clean energy</p>	<p>Equity and affordability Reducing energy poverty and improving the affordability of sustainable energy</p>
	<p>Resilience capacity Improving local communities' resilience to external shocks through the creation of robust and flexible local energy networks</p>	
	<p>Health and well-being benefits Air quality improvement</p>	<p>Public involvement and governance Decentralized management, with community involvement in decision-making Multi-stakeholder governance</p>

Tab. 1 | Synoptic framework of the main similarities and differences between Renewable Energy Communities and Hydrogen Valleys (credit: the Authors, 2024).

In its role as an energy vector, hydrogen, besides ensuring 'hard-to-abate' and transport sectors decarbonisation, may enable some additional functions such as large-scale storage over decades and the transport of large amounts of energy over long distances, fostering the development of a

widespread energy system on the territory with high levels of resilience (MASE, 2023b). In this direction, current Italian legislation includes hydrogen among the measures and investments – included in the National Recovery and Resilience Plan (MIMIT, 2023) – aimed to promote the devel-

opment of the supply chain on a local basis and the deployment of hydrogen in industry, small and medium-sized enterprises (SMEs) and local transport, starting with the creation of Hydrogen Valleys with the dual objective of regenerating disused industrial areas by rehabilitating them as experimental units for the production of hydrogen from RES systems, located within ex-factories or in neighbouring areas, while fostering the recovery of local economies (Fig. 4).

National and regional public calls, Important Projects of Common European Interest (IPCEI), and/or private investments are the main funding categories, providing a portfolio of initiatives to support industries, authorities, and policy-makers in strengthening existing and planned hydrogen projects and fostering the development of new ones (Gandiglio and Morocco, 2024).

The potential use of unlimited, environmentally friendly and versatile hydrogen – formally introduced by Decreto Legislativo 8 Novembre 2021 n. 199 implementing European Directive EU/2018/2001 (European Parliament and Council of the European Union, 2018), as modified by Directive EU/2023/2413 (European Parliament and Council of the European Union, 2023), and the two Delegated Regulations EU/2023/1184 and EU/2023/1185 (European Commission, 2023a, 2023b) – faces tangible difficulties related to the development and commercial use of this energy vector, due to high production costs, insufficient technological maturity of the sector and some infrastructural gaps (Confindustria, 2020, 2021).

In the current energy panorama, Hydrogen Valleys – defined as hubs and territorial ecosystems of hydrogen produced from the valorisation of locally available renewable resources – take on an experimental character, configured within strategic production areas, such as sites already in possession of a connection to the electricity grid, placed in key positions to be available to the vector's end users (Ficco et alii, 2022). Although many demonstration projects¹ have already recorded interesting outcomes, individual hydrogen technologies – isolated or of limited applicability – still need to be deployed and studied on a large scale, as well as need the definition of legislative guidelines and administrative rules, as well as information actions aimed at promoting their public acceptance, identifying enabling technologies, developing business models, know-how transfer actions and training of new professionals.

Medium-sized cities as drivers for decarbonisation | Economic, social and environmental developments must be framed in a specific territorial dimension and depend on a range of territorial, natural and human resources. To define local development strategies that are focused and environmentally attentive and to understand and quantify their impact, such geospatial diversity becomes both a key and complex element. While the Covid-19 pandemic has placed large cities in front of the need for their rethinking that systematises ecological, social and economic sustainability, it has also brought to the forefront in Italy the livability of medium-sized cities, not only because they are characterised by the coexistence of rural-urban hybrid spaces that already express high sustainability characters, but above all because 68.3% of the Italian population resides here, much

higher percentage than the European average (ISTAT, 2022), all characteristics that make them ideal places where climate-changing emission reduction targets can be met (Bernabò, 2022).

Following the methodological framework underlying the global comparative framework for measuring the urbanisation of a territory along an urban-rural continuum² (UNSC, 2020), Eurostat defines 'intermediate density cities', or more simply 'medium cities', a basic spatial typology of local administrative units (LAUs) midway between a city and a rural area, and being able to confront this dimension means taking into account the complementarities and interdependencies between the different context categories and bringing out the various local peculiarities (European Commission – Eurostat, 2019).

These territorial realities are affected by economic and social transformations ranging from de-ruralisation and industrial growth to decline and relative depopulation, from marginalisation to promoting innovation in local cultural resources, tourism and quality agriculture. In this sense, designing the regeneration of medium-sized cities does not mean operating in terms of comparison with large cities, but instead bringing out their ability to respond to poly-crisis with a positive attitude toward 'cityness' (Garrett-Petts, 2005). Indeed, inherently endowed with a transformative dimension, indicating the ability of a system and its actors to change its organisational structure and create the conditions to promote development, medium-sized cities are moving toward generative practices, emphasising visions of dynamic transformation scenarios and forms of territorial self-organisation (Mayer and Lazzeroni, 2022). The generative drive is also closely linked to promoting context-related factors by identifying characterising activities and enhancing key competencies and local resources.

The Organization for Economic Co-operation and Development (OECD, 2020) assigns medium-sized cities an essential role in achieving the UN SDGs (UN, 2015) by 2030 – emphasising that 65% of them cannot be achieved without their full involvement – because they are especially well suited to foster local development in a way that is integrated with environmental goals. To achieve all this, there is a need for: a) support for clean and low-carbon hydrogen production that can support the development of economies of scale; b) coordination in production and demand incentives to foster a hydrogen market; c) a clear regulatory framework that defines the development of supply, demand, and supply chain infrastructure; d) a system of regulations on the technical safety of the entire hydrogen supply chain.

Hydrogen generation | In his famous book *Hydrogen Economy*, written more than twenty years ago, Jeremy Rifkin (2014) identified hydrogen as a revolutionary, inexhaustible, necessary, and clean energy source and raised the question of its production. The real question is whether it is possible to use alternative, renewable, non-hydrocarbon family forms of energy – such as photovoltaic, wind, hydroelectric, and geothermal – to generate electricity for use in the electrolytic production process; moreover, the development of new fields of application must go hand in hand with the very increase in hydrogen production. Major markets are

beginning to appear on the horizon, including industrial applications – steel mills, refineries, and cement plants – and mobility infrastructure related to transporting goods and people.

When the resource has become more abundant in the energy market, hydrogen can spread in heating buildings and generating electricity in a mixture with natural gas, also allowing the sectoral coupling between electricity networks and gas – P2H (IRENA Coalition for Action, 2022). The coming years will see a significant transformation in the electricity sector, and hydrogen could be used to store renewable overgeneration in the grid, and even power generation in currently gas-fired thermoelectric plants could be converted to hydrogen.

In the current energy scenario, the possibility of obtaining renewable hydrogen from distributed generation, i.e., a decentralised power generation system in which energy is produced from different sources on a small scale, makes this solution compatible with the local scale, although the high-power consumption, associated costs make this technology still unattractive (Cova and Migliorini, 2021). In order to achieve the ambitious goals of the National Hydrogen Strategy (MASE, 2020), the challenge regarding the installed capacity of electrolyses is highlighted in order to maximise the potential of the energy vector for further end uses; this would allow the allocation of a considerable capacity of RES plants exclusively for hydrogen production, requiring the availability of large areas for their installation.

Furthermore, the contribution of Hydrogen Valleys to energy security implies the availability of raw materials, not only for the production of photovoltaic solar energy and wind turbines, but also for the generation of hydrogen (Reitsma, 2023): one cannot overlook the considerable use of water necessary for the production of large quantities of green hydrogen, a fact that could place limits on the location of projects, considering the current and future contextual conditions to be observed under the lens of climate change that threatens to dramatically alter the availability of the water resource (Setti and Sandri, 2022).

Socio-spatial link | The hydrogen-powered fuel cell technology, meant as a non-polluting machine for generating electricity, is considered the panacea for all ills by Rifkin. Since it is a micro-system that can be installed at the end-user's premises, this would overturn the hierarchical, centralised energy model to give rise to a distributed network of producers-consumers-exchangers, of prosumers and consumers (Fig. 5). A necessary condition for this possible set-up is the support of public institutions for the development of the grid, which would guarantee undifferentiated access to energy and a redistribution of decision-making power in energy matters, through bottom-up activities and widespread participation (Vezzoni, 2024).

In fact, in the current decarbonisation scenario, the energy system is evolving toward a new polycentric dimension spread across territories. The production, transport and consumption of energy invest to such an extent and directly the communities' territorial dimension and the proximity character of renewable resources and diffuse generation facilities that allow redefining the socio-spatial link with energy, reassigning to local communities the role and direct possibility of managing energy

resources and spaces, with the possibility of reinterpreting energy as an element that brings social innovation and promotes local development (European Commission – Joint Research Centre, 2020).

The evolution towards Hydrogen Valleys can be seen as a progression in the transition towards an increasingly sustainable, secure and renewable energy system; it implies a shift from the local dimension – characteristic of Renewable Energy Communities (RECs) – to a larger scale (Tab. 1), requiring additional investments and strategic partnerships and a long-term vision for the transformation of the entire energy ecosystem, as well as multi-sectoral integration and multi-stakeholder collaboration (Skaloumpakas et alii, 2024). The activation of formalisation and engagement processes of the different categories of stakeholders that mobilise the local economic system by including a hydrogen economy – according to top-down and also bottom-up approaches – feeds social cohesion and, at the same time, attributes 'added value' underlying the creation of investment conditions (MASE, 2023a).

From this perspective, the identification of the key actors to be involved and their respective roles makes it possible to build a comprehensive intervention policy and structure appropriate local governance models through the recognition of inherent potential, optimising situations and infrastructure, and dealing with critical nodes from the knowledge and awareness of the underlying territorial dynamics (Battisti and Tucci, 2015).

Distributed energy generation activates a renewed consciousness of place through local actors' involvement in identifying and appropriately using territorial energy resources. Thus, a process of de-territorialisation linked to the decommissioning of fossil fuel systems and re-territorialisation through the conversion of disused production heritage and the related construction of a new value chain based on the use of renewable energy occurs.

Territorial heritage | With the entrance of the 'heritage'³ concept into the field of spatial sciences, this takes on a geographical connotation, not only as point elements but as a whole, and is reread as a process of interdependent evolution between nature and culture. In particular, the enhancement of heritage takes on a dual purpose: on the one hand, it is aimed at economic development through connection to economies of scale; on the other hand, heritage, viewed as a long-lasting resource, becomes part of an identity network of local actors capable of enabling social recognition of the resource itself. This brings out an alternative local development mode, no longer oriented to competitive productivity but rather to creating networks and proximity relations (Pica et alii, 2024).

In this perspective, the regeneration project of the territorial heritage, which the settled communities can reinterpret as a potential energy producer in a holistic view, simultaneously responds to the need for zero-impact energy production and energy security, combining physical transformation, production of goods and services for the community, activation of new forms of partnership and participation, generation of values and common goods with a view to sustainable local development (Kostešić, Vukić and Vukić, 2019).

In particular, the regeneration project of the disused productive heritage, based on zero land consumption logic and retro-innovation⁴ processes aimed at responding to the problems induced by climate change, constitutes an opportunity for the local community to interpret this resource for potential future uses and to define strategies that, starting from the understanding of its reproduction rules, bring added value to the community (Arbab and Alborzi, 2022).

Conclusions | Long-term climate neutrality policies will bring about a paradigm shift in the energy sector, with profound implications for energy security, equity and sustainability, infrastructure requirements, and managing energy sources and vectors. The Hydrogen Valley concept refers to an integrated system on a territorial basis that covers the entire hydrogen value chain, linking production, storage and transport to a wide range of end uses and sectors. Within this framework, brown-field sites are ideal locations as they potentially have the necessary space for RES production to feed hydrogen generation systems while also meeting the zero-land consumption criterion, an operation that offers opportunities for converting existing infrastructures, regenerating these areas, turning them into centres of technological, eco-

nomical and social innovation and investment, job creation and local economic development.

Conceptualised as hubs for cooperation between governments, the private sector, academic institutions and local communities, these initiatives foster integrated approaches and sharing resources, knowledge and experience. Although different in nature, according to the needs determined by the project, the Hydrogen Valleys share common characteristics concerning the production of hydrogen – centralised or distributed – mainly from renewable energy sources and transport through fixed infrastructures, as well as by land and sea; moreover, although the pilot cases are recorded in heterogeneous territorial contexts, the medium-sized areas constitute an invariant that favours the creation of energy autonomy and facilitates its management (Majka et alii, 2023).

In this perspective, the medium-sized city dimension offers fertile ground for developing hydrogen economy-oriented initiatives, combining an ideal dimension that facilitates the coordination and implementation of pilot projects and hydrogen infrastructures on a local basis with the experimentation of new technologies and business models. Local cooperation favours the creation of strategic partnerships due to a strong sense of cohesion, doing possible alternative practices that are diffi-

cult to implement in significant urban contexts.

However, an inadequate regulatory framework, investment and high costs are currently the main barriers to the competitiveness of the energy carrier and the development of larger-scale project solutions (Vivanco-Martín and Iranzo, 2023). In addition, hydrogen still has several unexplored development paths depending on how it is produced, transported and stored. The sector research should dedicate further study to the use of hydrogen in the residential sector, which could significantly boost the supply chain given that, as of 2020, there are about 20 mln gas-fired systems in Italy for heating and domestic hot water production.

In the Italian Integrated Energy and Climate Plan, only a ‘marginal’ role is left to the residential use of hydrogen, pushing towards electrification, not considering its possible future developments; in fact, sustainable hydrogen, like all green gases in general, represents a tangible possibility to decarbonise a building already equipped with the gas distribution network, using, at least partially, existing infrastructure and reducing the necessary investments aimed at limiting the overall environmental impact.

Acknowledgements

The contribution is part of the University research ‘Tool Up [TU] – A multidisciplinary protocol for urban regeneration’, Scientific Responsible: A. Battisti. The following paper is the result of a common reflection of the Authors. Nevertheless, the introduction paragraphs, ‘European policies’, ‘Hydrogen generation’ and ‘Conclusions’ are attributed to A. Battisti, the paragraphs ‘Italian policies’, ‘Medium-sized cities as drivers for decarbonisation’, ‘Socio-spatial link’ and ‘Territorial heritage’ to A. Calvano, supervised by A. Battisti.

Notes

1) The demonstration cases listed below constitute realities already operational in Italy. The criterion that motivated their selection corresponds to experiments in public mobility and power-to-gas systems. In particular, the following should be noted: the H2iseO project by FNM and Trenord, the Brenner Green Corridor project by the Province of Bolzano, the i-Next project by ITAE CNR, the Ingrid and Store&Go projects and the experimental project in Contursi Terme (SA) by Snam. For more information, see the webpages: fnmgroup.it/h2iseo_hydrogen_valley/; news.provincia.bz.it/it/news/brenner-green-corridor-nuove-stazioni-idrogeno-per-l-alto-adige; storeandgo.info/demonstration-sites/italy/; eai.enea.it/archivio/pianeta-idrogeno/cnr-contribution-to-national-development-of-sustainable-hydrogen-technologies.html; snam.it/en/media/news-and-press-releases/news/2020/snam-hydrogen-blend-doubled-to-10-in-contursi-trial.html [Accessed 22 April 2024].

2) The United Nations Statistical Commission (UNSC, 2020) provides a comprehensive comparative framework for measuring the urbanisation of a territory along an urban-rural continuum. The degree of urbanisation, based on a regular grid (geographical grid) of population of 1 square kilometre per cell, classifies – in the specific case – local units as ‘moderate density urban cluster’ considering a population density of at least 300 per 1 square kilometre and with a population of at least 5,000 inhabitants in contiguous cells (clusters).

3) Heritage is a set of material and non-material values that belong to a community or an individual by heritage and/or tradition.

4) Retro-innovation processes are based on actively rediscovering marginal knowledge and translating it into effective links between old and new knowledge. This side of innovations can have great potential for developing viable alternatives for local development.

References

- Arbab, P. and Alborzi, G. (2022), “Toward developing a sustainable regeneration framework for urban industrial heritage”, in *Journal of Cultural Heritage Management and Sustainable Development*, vol. 12, issue 3, pp. 263-274. [Online] Available at: doi.org/10.1108/JCHMSD-04-2020-0059 [Accessed 15 March 2024].
- Battisti, A. and Tucci, F. (2015), “Rigenerazione urbana tra qualità ambientale, gestione delle risorse e coesione sociale | Urban regeneration featuring environmental quality, the management of resources and social cohesion”, in *Techne | Journal of Technology for Architecture and Environment*, vol. 10, pp. 141-152. [Online] Available at: doi.org/10.13128/Techne-17510 [Accessed 15 March 2024].
- Bernabò, R. (2022), *Città Italia – Dieci visioni e dieci città per una nuova Agenda della provincia italiana*, Il Sole 24 Ore, Milano.
- Confindustria (2021), *Piano d’Azione per l’Idrogeno – Potenzialità dell’industria nazionale nella prospettiva della transizione ecologica e mappatura dei potenziali Off-Takers*. [Online] Available at: confindustria.it/wcm/connect/737f1918-a488-4117-95e5-b6c9d0c8ed6c/Position+Paper_Piano+d%27azione+per+l%27idrogeno++Focus+Offtaker+Industriali_Confindustria.pdf?MOD=AJPERES&CONVERT_TO=url&CACHEID=ROOTWORKSPACE-737f1918-a488-4117-95e5-b6c9d0c8ed6c-nWbWgXs [Accessed 22 April 2024].
- Confindustria (2020), *Piano d’Azione per l’Idrogeno*. [Online] Available at: [\[stria.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=ROOTWORKSPACE-552759de-3bb8-472f-a20b-07ab2aa5f21f-nuhfm09\]\(http://stria.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=ROOTWORKSPACE-552759de-3bb8-472f-a20b-07ab2aa5f21f-nuhfm09\) \[Accessed 22 April 2024\].](http://confindustria.it/wcm/connect/552759de-3bb8-472f-a20b-07ab2aa5f21f/Position+Paper_Piano+d%27azione+per+l%27idrogeno_ott+2020_Confindu-</p>
</div>
<div data-bbox=)

Cova, B. and Migliorini, L. (2021), *Strategia italiana sull’idrogeno – Quale impatto sul sistema elettrico?*, CESI, Milano. [Online] Available at: cesi.it/app/uploads/2021/10/CESI-Studio-Idrogeno.pdf [Accessed 15 March 2024].

Decreto Legislativo 8 novembre 2021 n. 199, “Attuazione della direttiva (UE) 2018/2001 del Parlamento europeo e del Consiglio, dell’11 dicembre 2018, sulla promozione dell’uso dell’energia da fonti rinnovabili (21G00214), in *Gazzetta Ufficiale Repubblica Italiana*, Serie Generale n. 285 del 30/11/2021, Suppl. Ordinario n. 42. [Online] Available at: gazzettaufficiale.it/eli/id/2021/11/30/21G00214/sg [Accessed 15 March 2024].

European Commission – Eurostat (2019), *Methodological manual on territorial typologies – 2018 edition*, Publications Office. [Online] Available at: doi.org/10.2785/930137 [Accessed 15 March 2024]. European Commission – Joint Research Centre (2020), *Social innovations for the energy transition – An overview of concepts and projects contributing to behavioural changes, and increased well-being*. [Online] Available at: data.europa.eu/doi/10.2760/555111 [Accessed 15 March 2024].

European Commission (2023a), *Commission Delegated Regulation (EU) 2023/1184 of 10 February 2023 supplementing Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council by establishing a Union methodology setting out detailed rules for the production of renewable liquid and gaseous transport fuels of non-biological origin*, document 32023R1184, C/2023/1087. [Online] Available at: data.europa.eu/eli/reg_del/2023/1184/oj [Accessed 15 March 2024].

European Commission (2023b), *Commission Delegated Regulation (EU) 2023/1185 of 10 February 2023 supplementing Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council by establishing a minimum threshold for greenhouse gas emissions savings of recycled carbon fuels and by specifying a methodology for assessing greenhouse gas emissions savings from renewable liquid and gaseous transport fuels of non-biological origin and from re-*

cycled carbon fuels, document 32023R1184, C/2023/1086. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2022%3A230%3AFIN [Accessed 15 March 2024].

European Commission (2022), *Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – REPowerEU Plan*, document 52022DC0230, 230 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2022%3A230%3AFIN [Accessed 15 March 2024].

European Commission (2021), *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – A Hydrogen Strategy for a Climate-neutral Europe*. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52020DC0301 [Accessed 15 March 2024].

European Commission (2020), *Powering a climate-neutral economy – Commission sets out plans for the energy system of the future and clean hydrogen*. [Online] Available at: ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_20_1259 [Accessed 15 March 2024].

European Commission (2019), *Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – The European Green Deal*, document 52019DC0640, 640 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN [Accessed 15 March 2024].

European Commission (2018a), *Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – A Clean Planet for All – A European strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy*, document 52018DC0773, 773 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52018DC0773 [Accessed 15 March 2024].

European Commission (2018b), *Final Report of the High-Level Panel of the European Decarbonisation Pathways Initiative*. [Online] Available at: data.europa.eu/doi/10.2777/636 [Accessed 15 March 2024].

European Commission (2016), *Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – Clean Energy for All Europeans*, document 52016DC0860, 860 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52016DC0860&qid=1713606107255 [Accessed 15 March 2024].

European Parliament and Council of the European Union (2023), *Directive (EU) 2023/2413 of the European Parliament and of the Council of 18 October 2023 amending Directive (EU) 2018/2001, Regulation (EU) 2018/1999 and Directive 98/70/EC as regards the promotion of energy from renewable sources and repealing Council Directive (EU) 2015/652*, document 32023L2413, PE/36/2023/REV/2. [Online] Available at: data.europa.eu/eli/dir/2023/2413/oj [Accessed 23 April 2024].

European Parliament and Council of the European Union (2018), *Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources (recast)*, document 32108L2001, PE/48/2018/REV/1. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32018L2001&qid=1713606635772 [Accessed 15 March 2024].

Ficco, G., Arpino, F., Dell'Isola, M., Grimaldi, M. and Lisi, S. (2022), "Development of a Hydrogen Valley for Exploitation of Green Hydrogen in Central Italy", in *Energies*, vol. 15, issue 21, article 8072, pp. 1-10. [Online] Available at: doi.org/10.3390/en15218072 [Accessed 15 March 2024].

Gandiglio, M. and Marocco, P. (2024), "Mapping hydrogen initiatives in Italy – An overview of funding and projects", in *ChemRxiv*, pp. 1-19. [Online] Available at: doi.org/10.26434/chemrxiv-2024-1mssg [Accessed 24 April 2024].

Garrett-Petts, W. (2005), *The small cities book – On the cultural future of small cities*, New Star Books, Vancouver.

Genovese, M., Piraino, F. and Fragiaco, P. (2024), "3E analysis of a virtual hydrogen valley supported by railway-based H2 delivery for multi-transportation service", in *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 191, article 114070, pp. 1-22. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.rser.2023.114070 [Accessed 23 April 2024].

IEA – International Energy Agency (2019), *The Future of Hydrogen – Seizing today's opportunities*, Report prepared by the IEA for the G20, Japan. [Online] Available at: iea.org/reports/the-future-of-hydrogen [Accessed 15 March 2024].

IRENA Coalition for Action (2022), *Sector coupling – A key concept for accelerating the energy transformation*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. [Online] Available at: irena.org/Publications/2022/Dec/Sector-coupling-A-key-concept-for-accelerating-the-energy-transformation [Accessed 15 March 2024].

ISTAT (2022), *Popolazione residente e dinamica demografica – Anno 2021*. [Online] Available at: istat.it/it/files/2022/12/CENSIMENTO-E-DINAMICA-DEMOGRAFICA-2021.pdf [Accessed 15 March 2024].

Karjunen, H., Sikiö, P., Lassila, J., Vilppo, J., Räisänen, O., Inkeri, E., Tynjälä, T. and Laaksonen, P. (2022), *South-East Finland Hydrogen Valley – Project report*, Research report, n. 144. [Online] Available at: lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/164642/Southeast%20Finland%20Hydrogen%20Valley%20Report.pdf?sequence=8&isAllowed=y [Accessed 27 April 2024].

Kostešić, I., Vukić, J. and Vukić, F. (2019), "A Comprehensive Approach to Urban Heritage Regeneration", in Obad Šćitaroci, M., Bojanić Obad Šćitaroci, B. and Mrđa, A. (eds), *Cultural Urban Heritage*, Springer, Cham, pp. 65-76. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-030-10612-6_6 [Accessed 15 March 2024].

Majka, A., Klimczyk, M., Kucharski, K. and Muszyńska-Pałys, J. (2023), "Hydrogen Valley as a hub for technological cooperation between science, business, local government and NGOs – An Overview of approach in Europe", in *Torun International Studies*, vol. 1, issue 17, pp. 5-15. [Online] Available at: apcz.umk.pl/TSM/article/view/43458 [Accessed 23 April 2024].

MASE – Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (2023a), *Il ruolo della partecipazione e dello stakeholder engagement nella definizione e attuazione delle politiche per lo sviluppo sostenibile*. [Online] Available at: mase.gov.it/sites/default/files/archivio/allegati/sviluppo_sostenibile/Il_ruolo_della_partecipazione_per_la_sostenibilit%C3%A0_2023.pdf [Accessed 15 March 2024].

MASE – Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (2023b), *Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima – Italia*. [Online] Available at: mase.gov.it/sites/default/files/PNIEC_2023.pdf [Accessed 15 March 2024].

MASE – Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (2020), *Strategia Nazionale Idrogeno – Linee Guida Preliminari*. [Online] Available at: mimit.gov.it/images/stories/documenti/Strategia_Nazionale_Idrogeno_Linee_guida_preliminari_nov20.pdf [Accessed 15 March 2024].

Mayer, H. and Lazzeroni, M. (2022), *A Research Agenda for Small and Medium-sized Towns*, Edward Elgar Publishing. [Online] Available at: doi.org/10.4337/9781800887121 [Accessed 15 March 2024].

MIMIT – Ministero delle Imprese e del Made in Italy (2023), *Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza – #Next-GenerationItalia*. [Online] Available at: mimit.gov.it/images/stories/documenti/PNRR_Aggiornato.pdf [Accessed 15 March 2024].

Noussan, M., Raimondi, P. P., Scita, R. and Hafner, M. (2021), "The role of green and blue hydrogen in the energy transition – A technological and geopolitical perspective", in *Sustainability*, vol. 13, issue 1, article 298, pp. 1-26. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su13010298 [Accessed 15 March 2024].

OECD – Organisation for Economic Co-operation and Development (2020), *A Territorial Approach to the Sustainable Development Goals – Synthesis Report*. [Online] Available at: doi.org/10.1787/e86fa715-en [Accessed 15 March 2024].

Paltsev, S., Morris, J., Kheshgi, H. and Herzog, H. (2021), "Hard-to-Abate Sectors – The role of industrial Carbon Capture and Storage (CCS) in emission mitigation", in *Applied Energy*, vol. 30, article 117322, pp. 1-11. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117322 [Accessed 15 March 2024].

Pica, V., Baldazzini, A., Miccolis, S. and Venturi, P. (2024), *L'orientamento alla comunità nella rigenerazione territoriale – Comunità, cultura e impatto sociale*, I Quaderni dell'Economia Civile, vol. 12, AICCON Research Center, Forlì. [Online] Available at: aiccon.it/wp-content/uploads/2024/01/Quaderni-dellEconomia-Civile-12_ok.pdf [Accessed 15 March 2024].

Reitsma, A. (2023), *European Hydrogen Valleys – An energy security perspective*, Master International Relations – International Relations and International Organisations (track). [Online] Available at: heavenn.org/wp-content/uploads/2023/07/Master-thesis_AnniekReitsma_European-Hydrogen-Valleys_an-energy-security-perspective_1-gecomprimeerd.pdf [Accessed 24 April 2024].

Rifkin, J. (2014), *Economia all'idrogeno – La creazione del Worldwide Energy Web e la redistribuzione del potere sulla terra*, Mondadori, Milano.

Setti, L. and Sandri, S. (2022), *Studio della sostenibilità economica della filiera di produzione di idrogeno verde backbone italiana*, Re-Common. [Online] Available at: recommon.org/download/studio-sulla-sostenibilita-economica-della-filiera-di-produzione-dellidrogeno-verde-per-una-hydrogen-backbone-italiana/ [Accessed 15 March 2024].

Skaloumpakas, P., Sarmas, E., Rachmanidis, M. and Marinakis, V. (2024), "Reshaping the energy landscape of Crete through renewable energy valleys", in *Scientific Report*, vol. 14, article 8038, pp. 1-13. [Online] Available at: doi.org/10.1038/s41598-024-57471-7 [Accessed 25 April 2024].

UN – United Nations (2015), *Transforming our World – The 2030 Agenda for Sustainable Development*, document A/RES/70/1. [Online] Available at: sdgs.un.org/2030agenda [Accessed 15 March 2024].

UNSC – UN Statistical Commission (2020), *A recommendation on the method to delineate cities, urban and rural areas for international statistical comparisons*, prepared by the European Commission – Eurostat and DG for Regional and Urban Policy – ILO, FAO, OECD, UN-Habitat, World Bank. [Online] Available at: unstats.un.org/unsd/statcom/51st-session/documents/BG-Item3j-Recommendation-E.pdf [Accessed 15 March 2024].

Vezzoni, R. (2024), "How clean is the hydrogen economy? Tracing the connections between hydrogen and fossil fuels", in *Environmental Innovation and Societal Transitions*, vol. 50, article 100817, pp. 1-16. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.eist.2024.100817 [Accessed 15 March 2024].

Vivanco-Martín, B. and Iranzo, A. (2023), "Analysis of the European Strategy for Hydrogen – A Comprehensive Review", in *Energies*, vol. 16, issue 9, article 3866, pp. 1-36. [Online] Available at: doi.org/10.3390/en16093866 [Accessed 24 April 2024].

Weichenhan, U., Kaufmann, M., Hölscher, M. and Scheiner, M. (2022), *Going Global – An update on Hydrogen Valleys and their role in the new hydrogen economy*. [Online] Available at: clean-hydrogen.europa.eu/system/files/2022-09/Hydrogen_Valleys_online_2022.pdf [Accessed 24 April 2024].

ARTICLE INFO

Received 05 May 2024
 Revised 12 May 2024
 Accepted 20 May 2024
 Published 30 June 2024

PATRIMONIO CULTURALE E TRANSIZIONE ENERGETICA

Una lezione dal passato

CULTURAL HERITAGE AND ENERGY TRANSITION

A lesson from the past

Xavier Casanovas, José A. Alonso Campanero, Tiziana Campisi

ABSTRACT

Nel complesso panorama della transizione energetica, il Patrimonio Culturale emerge come un pilastro fondamentale della 'innovability', suggerendo una lezione dal passato. Storicamente la cultura tecnica ha saputo adattare la sapienza costruttiva alle risorse energetiche disponibili, dimostrando sorprendente resilienza e innata propensione all'innovazione. L'adeguamento energetico associato alla conservazione di questo Patrimonio deve preservare l'identità mediterranea che in questo saggio si intende trattare; le tecnologie tradizionali si rivelano ancora attuali e quelle energetiche moderne vanno integrate ad esse armoniosamente. Questa simbiosi tra passato e presente riveste un'importanza cruciale dal punto di vista pratico e simbolico: riconnettersi con le nostre radici culturali nel dirigersi verso un futuro più sostenibile, assicura un percorso indolore verso l'efficienza energetica.

In the complex landscape of energy transition, Cultural Heritage emerges as a fundamental pillar of 'innovability', suggesting a lesson from the past. Historically, technical culture has been able to adapt building wisdom to available energy resources, demonstrating surprising resilience and an innate propensity for innovation. The energy adaptation associated with conserving this heritage must preserve the Mediterranean identity this essay aims to address; traditional technologies are still relevant today, while modern energy technologies require harmonious integration. This symbiosis between past and present is of crucial practical and symbolic importance: reconnecting with our cultural roots in moving towards a more sustainable future ensures a painless path to energy efficiency.

KEYWORDS

patrimonio culturale, recupero tecniche costruttive energetiche tradizionali, valorizzazione, innovazione tecnologica compatibile

cultural heritage, recovery of traditional energy construction techniques, valorisation, compatible technological innovation

Xavier Casanovas, Technical Architect and Construction Engineer, is an International Expert in Urban Regeneration, Heritage Restoration and Sustainable Rehabilitation. Former Director of the Technical Service of Architectural Rehabilitation in Barcelona, he is President of the RehabiMed Association (Spain), Lecturer in Spanish and International Universities and Coordinator of international projects on Cultural Heritage Protection. E-mail: xavier.casanovas.b@gmail.com

José A. Alonso Campanero, Technical Architect and Construction Engineer, is the Director of Proskene Slp (Spain), a consulting company for the Conservation and Restoration of Architectural Heritage. He has directed interventions and projects in more than 70 listed buildings, archaeological sites, Cultural Heritage and monuments for public and private clients. E-mail: jose.alonso@proskene.com

Tiziana Campisi, Associate Professor of Architectural Engineering at the Department of Architecture of the University of Palermo (Italy), researches traditional building techniques, building and technological recovery projects, compatible and sustainable building techniques, structural safety and accessibility of use. E-mail: tiziana.campisi@unipa.it



La sostenibilità è oggi tema fondamentale nel dibattito sulla conservazione e gestione del Patrimonio, accolta come una sfida imprescindibile nell'ambito della conservazione e valorizzazione del costruito con valenza storico-culturale. Originariamente enunciato e promosso nel Rapporto Brundtland (WECD, 1987) sul finire degli anni Ottanta del XX secolo, il tema della sostenibilità è stato successivamente integrato nel contesto dei Beni Culturali attraverso la Conferenza intergovernativa dell'UNESCO (1998) sulle politiche culturali per lo sviluppo tenutasi a Stoccolma nel 1998, tema inizialmente incentrato su tre pilastri (economico, sociale e ambientale) declinato poi anche nella sfera culturale su un quarto pilastro.

Nel corso degli anni sono emerse diverse interpretazioni circa la consistenza dell'impegno necessario per raggiungere livelli di alta qualità e sostenibilità del Patrimonio Culturale (Blanc, 2020; Carbonara, 2021); tra queste: il rapporto tra conservazione e fruizione, attraverso processi integrati e dinamici; l'adozione di soluzioni preventive per garantire la longevità del patrimonio edilizio tradizionale e di pregio; nuove forme di governance, con attenzione alla dimensione identitaria locale e la partecipazione dei cittadini nelle decisioni sul futuro del Patrimonio; il riconoscimento del contributo economico del Patrimonio nei confronti della società e del contesto; il valore della dimensione sociale e la continua reinterpretazione dei siti; infine, l'attenzione ad altri aspetti cruciali per il futuro del Patrimonio Culturale.¹

Se da un lato si avverte la necessità di mettere in campo azioni di messa in valore, di fruizione e di comunicazione, necessarie a riattivare il Patrimonio Culturale risolvendo la tradizionale dicotomia fra le principali istanze 'conservativa' e 'fruitiva' (Ruggieri and Sposito, 2012; Sposito and Scalis, 2018), dall'altro, rispetto alle nuove sfide della contemporaneità, occorre riflettere sul ruolo che il Patrimonio ricopre nella questione ambientale, con particolare riferimento all'emergenza climatica (Fig. 1; Franco and Mauri, 2024).

È sempre più frequente, infatti, leggere notizie che riportano eventi meteorologici estremi con conseguenze irreversibili per il Patrimonio Culturale: solo l'anno scorso incendi devastanti hanno colpito migliaia di ettari di foreste in Spagna, Italia e Grecia, mentre inondazioni in Libia hanno cancellato interi villaggi; inoltre se le temperature continueranno ad aumentare al ritmo attuale, lo scioglimento delle calotte polari causerà un irreparabile innalzamento del livello del mare. Nel 2018 la rivista *Nature Communication* ha pubblicato uno studio (Reimann et alii, 2018) sui rischi dell'erosione costiera e delle inondazioni per siti riconosciuti come Patrimonio dell'Umanità lungo le coste del Mediterraneo: le conclusioni erano e sono ancora desolanti, prevedendo parziali o totali sommersioni di città come Venezia e siti archeologici come Leptis Magna in Libia.

Nel 2019 l'Europa ha approvato il Green Deal (European Commission, 2019) per affrontare gli effetti della crisi climatica; questa e altre serie di iniziative politiche mirano a rendere l'Europa climaticamente neutra entro il 2050, oltre che a ridurre le emissioni di carbonio del 55% entro il 2030 rispetto ai precedenti livelli rilevati nel 1990 (Eckert and Kovalevska, 2021; Skjærseth, 2021). Per raggiungere questi obiettivi, sono stati stanziati mille miliardi di euro per politiche di mitiga-

zione, adattamento e resilienza, con inevitabile impatto sul Patrimonio Culturale (European Commission, 2021, 2022).

Il comparto edilizio risulta essere, come è noto, grande consumatore di energia (IEA, 2021), necessaria a fornire comfort e adeguati servizi ai suoi fruitori e a mitigare le emissioni di gas serra; rispetto a questa criticità si evidenziano due approcci essenziali e complementari finalizzati in primo luogo a migliorare l'efficienza per ridurre il consumo energetico e, in secondo luogo, a integrare fonti energetiche rinnovabili per alimentare i servizi richiesti.

Se il miglioramento delle prestazioni energetiche del Patrimonio costruito risulta un obiettivo essenziale per affrontare l'emergenza climatica, tuttavia le misure attuate per questa necessaria transizione energetica possono potenzialmente metterne a rischio i valori tipologici, materico-costruttivi e talvolta anche strutturali. Occorre infatti ricordare che le direttive europee e il loro recepimento nelle legislazioni nazionali dei Paesi del Vecchio Continente spesso raccomandano, a titolo di esempio, l'isolamento termico in facciata e in copertura: questo approccio può migliorare significativamente l'efficienza energetica di una parte considerevole del costruito, ma può anche comportare alterazioni sostanziali della facies e dei caratteri architettonici peculiari di quegli edifici che hanno un'elevata rilevanza culturale.²

Interventi indiscriminati su alcuni tipi di involucro rischiano di incidere negativamente sul valore storico-estetico e di contribuire all'omologazione, cancellando linguaggi, stili e stratificazioni che nel tempo hanno contribuito a definire, oltre che l'identità di un manufatto architettonico, anche il carattere di una città o di un sito (Saleh and Saied, 2017). È chiaramente manifesta la contraddizione in termini tra l'efficientamento energetico degli edifici e la conservazione del loro valore storico-culturale: gli interventi di isolamento termico a cappotto spesso confliggono con la presenza di apparati decorativi o con elementi lapidei o lignei a vista, così come con la variegata gamma di altri materiali che sono espressione di un linguaggio compositivo, costruttivo e materico specifici di una consolidata tipologia architettonica.

Sarebbe opportuno che le prestazioni richieste per soddisfare l'efficienza energetica degli edifici tradizionali prevedessero delle esenzioni per gli interventi di adeguamento, che peraltro dovrebbero essere considerati quali miglioramenti necessari, soggetti alla valutazione di esperti nel campo della progettazione del Patrimonio costruito e approvati dagli Enti di tutela, garantendone la compatibilità con gli obiettivi di conservazione (Fig. 2).

Una caratteristica costante del Patrimonio architettonico è poi la trasmissione di conoscenze ed esperienze acquisite nel corso dei secoli da artigiani e architetti, che hanno affinato tecniche e sistemi costruttivi e valorizzato i materiali tradizionali, rispondendo all'esigenza di realizzare edifici duraturi in un equilibrio armonioso tra utilizzo delle risorse locali, comfort degli utenti e salvaguardia dell'ambiente.

Sebbene le maestranze specializzate spesso non siano più disponibili nel contesto locale di appartenenza, ancora oggi la riproposizione della tecnica artigianale preindustriale dimostra il suo approccio innovativo. L'avvento dell'industrializ-

zazione ha segnato un profondo cambiamento nei processi costruttivi, ma l'edilizia tradizionale rappresenta ancora oggi un prezioso 'manuale' da cui trarre lezioni di innovazione resiliente: preservare le originali eccellenze tecnologiche dell'architettura storica appare necessario, nonostante esse siano soggette all'imperativo della transizione energetica. Un esempio lampante è dato dai sistemi bioclimatici passivi, radicati nelle tradizioni costruttive del passato, i quali offrono un'alternativa più sostenibile rispetto all'adozione acritica delle tecnologie contemporanee.

Questa riflessione sostiene la reintroduzione dei metodi costruttivi tradizionali, poiché già intrinsecamente sostenibili (Saedi and Campisi, 2020); l'architettura del passato si distingue, tra l'altro, per la varietà di approcci e la ricchezza di soluzioni, perfettamente adattate ai contesti climatici, ai materiali tipici di ogni territorio e alle esigenze dei suoi abitanti. In una sorta di paradosso, conservando e reinterpretando le tecniche del passato, ci potremmo preparare più consapevolmente all'innovazione tecnologica bioclimatica del futuro.

Con il presente saggio si vogliono illustrare alcune soluzioni progettuali di impronta bioclimatica, desunte anche da viaggi e analisi dirette effettuate dagli autori, che possano offrire un valido spunto di riflessione sulle potenzialità di una riproposizione, anche in chiave energetica, di alcune soluzioni tecnologiche sostenibili riscontrate in edifici con valenza storico-culturale in ambito mediterraneo (Salkini, Greco and Lucente, 2017; Kesseiba and El-Husseiny, 2019): il recupero degli edifici storici con approcci bioclimatici infatti offre spunti di interesse su vari fronti, che vanno dalla oculata scelta dei materiali e dei sistemi costruttivi al risparmio energetico e all'aspetto estetico ornamentale. L'adozione di soluzioni progettuali incentrate sulla sostenibilità ambientale di tecnologie tradizionali non solo valorizza il Patrimonio storico-culturale, ma riduce anche l'impatto derivante dall'introduzione acritica di sistemi di efficientamento energetico, non tradizionali e di nuova generazione.

Allo scopo si prenderanno in esame alcuni casi emblematici di vari Paesi che impiegano materiali locali per un migliore isolamento termico e una maggiore resilienza alle condizioni meteorologiche tipiche della regione. Si tratterà anche della progettazione ottimale di spazi aperti, di facciate e coperture che favoriscono la ventilazione e l'illuminazione naturale e di tecnologie per il controllo solare. Inoltre si affronterà il tema dell'installazione di impianti fotovoltaici, solari termici, geotermici ed eolici, che contribuiscono alla riduzione del consumo energetico e rendono gli edifici storici più sostenibili e resilienti alle sfide climatiche del Mediterraneo; infine si porrà l'accento sulla necessità in ambito europeo della figura di Esperto in Recupero Edilizio e di condividere conoscenze tra Enti di ricerca e mondo del lavoro (professionisti e imprese). L'obiettivo è mostrare come le scelte del passato e le soluzioni innovative e sostenibili del futuro possano coesistere in modo armonioso, dimostrando quanto il Patrimonio storico possa essere un punto di riferimento affidabile per il futuro.

Soluzioni per il controllo solare, la ventilazione naturale e lo sfruttamento dell'inerzia termica
| Un elemento cruciale nella progettazione archi-



Fig. 1 | St Catherine's Monastery in Sinai (Egypt) is an example of introverted architecture to protect against extremely harsh environmental conditions (credit: X. Casanovas).

Fig. 2 | Caravanserai in Nicosia (Cyprus), a highly resilient building typology that easily adapts to new uses by exploiting its bioclimatic behaviour (credit: X. Casanovas).

tettonica è rappresentato dal corretto orientamento degli edifici, al fine di governare l'esposizione diretta alla luce solare o la protezione da essa, ma anche di sfruttare il vento come risorsa rinnovabile per la ventilazione naturale durante il giorno o la notte; una corretta esposizione può produrre infatti benefici intimamente legati al contesto locale.

Nelle città che si sviluppano sui pendii montani la giacitura delle strade segue l'orografia del terreno e la disposizione sfalsata degli edifici, lungo le linee di pendenza suggerite dall'orografia, facilitando la ventilazione trasversale e il soleggiamento (Fig. 3). Al contrario gli insediamenti fortificati, come i villaggi 'ksar' nelle valli presahariane, presentano un impianto urbano compatto e le abitazioni si distinguono per un numero ridotto di aperture sui prospetti, utili a proteggerle da condizioni climatiche estreme, quali escursioni termiche tra il giorno e la notte, o tempeste di sabbia. Nelle regioni desertiche inoltre la vegetazione di palme funge anche da barriera naturale alla luce solare e ai caldi venti meridionali.

In ambito urbano risulta cruciale progettare le architetture su strada tenendo conto delle condizioni climatiche locali: nelle città storiche dell'Europa centrale dal clima freddo è frequente trovare edifici con portici arretrati rispetto al filo di facciata, che forniscono riparo ai pedoni da pioggia e vento; al contrario nelle regioni calde del Mediterraneo e del Medio Oriente i portici (anche voltati) o le logge semi-coperte presentano leggeri pergolati ricoperti da vegetazione decidua, con viti e gelsomini, per schermare i passanti dalla radiazione solare in estate e consentire il passaggio della luce in inverno; questo aspetto, fondamentale per la vita all'aperto delle comunità, promuove anche la socialità, caratteristica tipica delle regioni mediterranee a clima temperato (Fig. 4; Moschella et alii, 2013).

Nei climi caldi una soluzione innovativa per ottimizzare le condizioni ambientali locali è rappresentata dalla costruzione di 'badgir' o torri del vento, una tipologia edilizia che caratterizza il profilo urbano di molte città del Medio Oriente, specialmente in Iran e nelle regioni vicine. A Yazd (Iran), nota come la 'città delle torri del vento', grandi edifici presentano cortili interni con fontane e torri, che creano zone di frescura e tranquillità (Figg. 5, 6); un esempio simile è individuabile nel 'malqaf' a Il Cairo, un sistema costruttivo intelligente che cattura la fresca brezza del Nilo e la indirizza nei principali ambienti domestici, offrendo ventilazione e raffrescamento naturali. In altre zone del Mediterraneo, durante la calda stagione estiva, si sfruttavano le cosiddette 'stanze dello Scirocco', strutture sotterranee artificiali costruite vicino a una fonte d'acqua per ricreare le piacevoli condizioni di frescura tipiche di una caverna naturale. Lo studio e la conservazione di queste strutture sopravvissute costituiscono un valido approccio per comprendere sistemi semplici di raffrescamento passivo, i cui principi potrebbero essere adottati anche in edifici moderni per un efficiente controllo energetico (Saeli and Saeli, 2015; Saeli, Saeli and Campisi, 2014).

Anche l'architettura rupestre, diffusa in molti Paesi, si presenta come una soluzione ideale per le regioni caratterizzate da climi estremi: l'insediamento in grotte naturali o ambienti sotterranei permette di attenuare sia l'intensità del caldo estivo che del freddo invernale, sfruttando l'inerzia termica del terreno e riducendo l'esposizione alle superfici di facciata o di copertura. Ancora oggi questa tipologia architettonica rappresenta una risposta efficace e adeguata alle sfide climatiche di specifiche aree geografiche (Fig. 7; Yaghoubi, Sabzevari and Golnesan, 1991; Musotto, 2017; Liu, Jimenez-Bescos and Calautit, 2023).

Gestione del microclima e sistemi naturali di raffrescamento passivo bioclimatico | La realizzazione di 'spazi filtro', collocati tra l'interno e l'esterno degli edifici, ha sempre favorito un microclima ottimale per il comfort abitativo variabile a seconda della stagione e dell'ora del giorno (Davidová, Barath and Dickinson, 2023; El-Hitami, Mahall and Serbest, 2023). La diversificazione di tali spazi, sia in termini di configurazione che di funzione, spesso contribuisce a definire l'identità architettonica di un luogo, specialmente nel contesto del Patrimonio edilizio.

Un esempio eloquente di questi spazi è rappresentato dalle 'gallerie' presenti ai piani superiori degli edifici storici, aperte o chiuse, che si adattano al clima locale grazie alla loro posizione altimetrica. Queste gallerie utilizzate per attività quotidiane (come l'essiccazione dei raccolti, soprattutto nelle comunità agricole che le utilizzano ancora oggi a tale scopo) sono conosciute con nomi diversi: 'loggia' in Italia, 'solana' in Catalogna, 'riwaq' in Palestina, 'iliakos' a Cipro e altre denominazioni. Questi spazi rivestono un'importanza cruciale non solo nei climi caldi, ma anche in quelli più freddi; in quest'ultimo caso le gallerie coperte fungono da vere e proprie serre, intrappolando il calore utile per il riscaldamento delle stanze interne dell'edificio. Una variante interessante in Medio Oriente è lo 'iwan', un ambiente interno con una facciata aperta che offre uno spazio multifunzionale, sia coperto che scoperto; degna di nota è anche il 'west eddar' arabo (centro della casa), il cui nome dichiara l'importanza della privacy nella cultura islamica (Gaitani, Mihalakakou and Santamouris, 2007).

Non mancano i riferimenti storici alle case con patio (dalla casa ellenistica con peristilio alla domus romana per l'architettura classica) e la tradizione tipologica si è mantenuta viva nei secoli, come testimoniato dai palazzi gotici o rinascimentali

e da tanti altri esempi qualificanti per stile, distribuzione e funzioni; nonostante la sua diffusione storica, geografica e culturale, il patio non è stato mai un elemento monotono: le proporzioni in pianta e in sezione sono attentamente studiate per adattarsi allo specifico contesto, offrendo la migliore risposta al clima locale.

Da un punto di vista termico il patio funziona come un 'serbatoio' di aria la cui temperatura è in grado di refrigerare con ventilazione naturale gli ambienti adiacenti, soprattutto nei climi desertici laddove si presenta con ridotte dimensioni in pianta e con fronti prospicienti che hanno un'altezza tale da ombreggiare per buona parte della giornata la sua superficie calpestabile; nei climi più temperati è possibile realizzare un patio più ampio, pur mantenendo intatte le sue funzioni bioclimatiche e organizzative (Fig. 8). Oltre alla corretta progettazione geometrico-dimensionale, un patio necessita tanto di vegetazione endemica, che offre ombra e refrigerio, quanto di acqua, sotto forma di fontane appositamente allocate, in quanto la sua evaporazione abbassa le temperature percepite e contribuisce al benessere ambientale (Zamani, Heidari and Hanachi, 2018; Guedouh and Zemmouri, 2017).

Il condizionamento degli edifici tramite sistemi bioclimatici naturali è fortemente influenzato dalle condizioni climatiche locali; i sistemi di raffrescamento naturale non si attivano sempre e comunque e ciò ha determinato pratiche di adattamento nell'utilizzo delle stanze in relazione alla stagione nella quale si poteva garantire ai suoi abitanti il necessario benessere termico (Fig. 9).

Anche la progettazione di coperture e sistemi di facciata in ambito Mediterraneo ha da sempre tenuto in considerazione la zona climatica di riferimento, cercando di massimizzarne lo sfruttamento e garantire una maggiore protezione dai raggi solari. Mentre i sistemi di copertura a volte intercettano la maggior parte della luce solare diretta e altre volte si configurano con la geometria delle

volte e delle cupole per ridurre l'impatto del calore sugli spazi interni sottostanti e l'azione del vento, nei climi molto caldi si prevedono finestre sulle facciate esposte a est e ovest, investite da una minore radiazione solare (Haghighi, Golshaahi and Abdinejad, 2015; Faghieh and Bahadori, 2011).

Nelle regioni con elevato irraggiamento solare pensiline e falde dei tetti sporgenti delineano una soluzione semplice ed efficace: sfruttando la diversa angolazione dei raggi solari si può fornire ombra durante l'estate e consentire al sole di riscaldare gli ambienti indoor in inverno. Per migliorare la ventilazione naturale nei climi caldi la pratica costruttiva in area mediterranea suggerisce anche di installare piccole aperture di ventilazione nella parte superiore di porte e finestre (sopralluce), agevolando così l'uscita dell'aria calda dalle stanze e attivando la ventilazione (Fig. 10).

Traspirabilità dell'involucro, sistemi di regolazione della luce e l'esperienza condivisa di un progetto europeo | Nell'edilizia preindustriale si

ricorreva ampiamente a materiali locali facilmente disponibili, come terra cruda, pietra, mattone, malta di calce o gesso e legno, insieme a materiali agricoli come la paglia. Questa pratica si basava sul requisito massivo dei muri portanti in terra cruda o pietra, sfruttando l'inerzia termica per migliorare il comfort interno: le pareti funzionavano come 'serbatoio' di calore, rilasciandolo gradualmente all'interno e garantendo una temperatura confortevole durante la notte; lo stesso principio si applicava alle coperture piane in terra battuta o ad altre tipologie di lastri solari. Importante era anche la traspirabilità delle murature storiche, che consentiva di bilanciare l'umidità esterna e interna grazie alla capacità di stabilire un equilibrio igrometrico tra il contenuto d'acqua assorbito ed evaporato sia allo stato liquido che gassoso, ottenuto con l'impiego di materiali lapidei molto porosi e rivestimenti traspiranti come intonaci a base di calce, gesso

o terra cruda (Figg. 11, 12; Zeayter, El-Bastawissi and Mohsen, 2022).

L'architettura storica offre anche varie soluzioni per regolare l'illuminazione all'interno degli edifici, attraverso una gamma diversificata di elementi architettonici come porte, portefinestre e finestre caratterizzate da forme geometriche diverse. Questi elementi tecnici mirano principalmente a soddisfare tre requisiti principali: isolamento termico, ombreggiamento e ventilazione. Altri elementi tecnici di pratico e rapido utilizzo sono le tende, realizzabili con diversi materiali e di differenti tipologie, la cui regolazione consente di calibrare la quantità di luce da filtrare negli ambienti interni. Nelle società islamiche questi elementi tecnici sono tutt'ora impiegati per garantire la privacy; nello specifico la 'mashrabiya' è una griglia di legno che schermata le aperture, consente il libero passaggio di aria e luce e al contempo garantisce una protezione da sguardi indiscreti e la visibilità verso l'esterno (Figg. 13, 14; Bagasi and Calautit, 2020; Taki and Kumari, 2023).

Se è vero che la sfida della Conservazione dell'architettura storica risiede nella capacità progettuale di bilanciare il mantenimento dei suoi valori intrinseci con l'adattamento alle tecnologie contemporanee, è altrettanto fondamentale considerare la durabilità e la resilienza dimostrate dal Patrimonio costruito nel corso dei secoli. Questi aspetti sottolineano l'adattabilità versatile delle tecniche costruttive tradizionali, suggerendo l'imperativo che gli interventi di restauro rispettino i materiali e i metodi tradizionali: un restauro / recupero responsabile deve valutare ogni aspetto dell'edificio, mantenendo la sua integrità storica pur rispondendo alle moderne esigenze di funzionalità, estetica e sostenibilità. Per far ciò si richiede una comprensione profonda degli aspetti strutturali e dei sistemi costruttivi, evitando interventi speculativi e fornendo orientamenti chiari per il futuro utilizzo dell'edificio; solo dopo una valutazione esaustiva sarà



Fig. 3 | Berat (Albania) lies perfectly on the mountainside, so solar radiation is equally suitable for all dwellings (credit: X. Casanovas).



Fig. 4 | In the city of Aleppo (Syria), stretches of road are protected from the sun, either by covered passages with stone vaults or by using vegetation (credit: X. Casanovas).

possibile introdurre sistemi di controllo ambientale attivo, privilegiando l'uso di fonti di energia rinnovabile.

In quest'ottica assume rilevanza il progetto europeo Smart Rehabilitation 3.0³, cofinanziato dall'Unione Europea nell'ambito del programma Erasmus+, che si propone di colmare il divario tra l'offerta formativa nel settore del recupero edilizio e le reali esigenze sociali con la creazione di un nuovo profilo professionale, l'Esperto in Recupero Edilizio. Tra gli scopi del progetto vi è anche l'istituzione di una biblioteca digitale open access per la diffusione delle conoscenze costituita da due database: il primo cataloga informazioni sulle attuali innovazioni tecnologiche, classificandole in base alle diverse parti dell'edificio e ai relativi sistemi costruttivi, con particolare attenzione ai materiali originali e alle tecniche costruttive compatibili e innovative; il secondo si concentra invece su interventi di restauro e recupero esemplari del Patrimonio edilizio storico, analizzando tipologie edilizie, esempi di rifunzionalizzazione, ecc.⁴

Il progetto esplora strategie di recupero edilizio "intelligente" applicabili all'architettura mediterranea tradizionale, con il fine di valutare una possibile integrazione di tecnologie moderne e pratiche sostenibili nel processo di restauro e conservazione degli edifici storici. Elemento cruciale di queste strategie è l'impiego di materiali avanzati e metodi costruttivi che rispettino le caratteristiche originali degli edifici, garantendo al contempo una maggiore affidabilità strutturale ed efficienza energetica. Tra le soluzioni adottate vi è l'implementazione di tecnologie intelligenti – come sensori, sistemi digitali e sistemi avanzati di gestione dell'energia – per monitorare e ottimizzare le condizioni ambientali all'interno degli edifici storici, contribuendo così a preservarne il valore storico e migliorarne la sostenibilità.

Energie rinnovabili e costruito storico | Affrontare il cambiamento climatico richiede nuove modalità di produzione dell'energia che consentano il passaggio dalle fonti fossili a quelle rinnovabili co-

me il solare, l'eolico e il geotermico, avviando una transizione con nuove sfide per la conservazione e la valorizzazione degli edifici tradizionali e dei monumenti che animano il dibattito nel mondo scientifico e delle professioni: da una prospettiva volta alla protezione dei valori del Patrimonio emerge infatti una certa riluttanza verso l'impegno di pannelli fotovoltaici su edifici e siti monumentali, sebbene il divieto di tali impianti impedisce agli abitanti dei centri storici e dei beni tutelati di accedere a un'energia pulita, contraddicendo le più recenti politiche internazionali e della Comunità Europea per contrastare il cambiamento climatico (De Medici, 2021).

Il recente conflitto in Ucraina ha prodotto un significativo aumento dei costi energetici e impedire l'autoapprovvigionamento creerebbe un danno economico ai proprietari di immobili dal valore storico-culturale; allo stesso tempo impedire la realizzazione di campi eolici e fotovoltaici in ambito extraurbano ostacolerebbe l'accesso all'energia pulita anche per i residenti dei centri storici



Fig. 5, 6 | In the City of Yazd (Iran), as in all regional cities, wind towers help create a very efficient natural cooling and ventilation system in almost all buildings (credits: X. Casanovas).

Fig. 7 | The troglodytic village of Espluga de Cuberes (Spain) clearly exploits the soil's thermal inertia in summer and winter (credit: X. Casanovas).

Fig. 8 | The Azem Palace in Damascus (Syria) is an exemplary case of managing vegetation and water evaporation to create a microclimate in large, attractive and comfortable courtyards (credit: X. Casanovas).

e degli edifici tutelati. È quindi essenziale trovare un equilibrio tra la conservazione del Patrimonio e la produzione di energia sostenibile, il che implica l'esplorazione di soluzioni e tecnologie innovative che riducano al minimo l'impatto paesaggistico e massimizzano l'utilizzo di energie rinnovabili, contribuendo sia alla sostenibilità ambientale sia alla conservazione del Patrimonio (Fig. 15).

I criteri di valutazione dell'impatto degli impianti solari sugli edifici storici varia notevolmente tra i Paesi europei. Edimburgo, tra le prime città a impegnarsi nella decarbonizzazione, ha installato i pannelli fotovoltaici sul Castello, riconosciuto dall'UNESCO Patrimonio dell'umanità: un'attenta analisi condotta da specialisti del settore, volta a mitigare l'impatto⁵, ha trovato la soluzione posizionando i pannelli dietro i parapetti; una soluzione simile è stata adottata nelle Cattedrali di Gloucester⁶ e York⁷ o sulla copertura della Sala delle Udienze Paolo VI, progettata dall'architetto Pier Luigi Nervi e limitrofa alla Basilica di San Pietro nella Città del Vaticano, il cui impianto si estende su una superficie di 5.000 mq⁸ (Karimi et alii, 2024). In Spagna la mancanza di norme specifiche sull'installazione di impianti fotovoltaici sui tetti dei centri storici e degli edifici tutelati ha creato notevoli problemi e ostacolato il progresso in questo settore.

Alternativa rinnovabile valida per l'edilizia storica è l'energia geotermica; pur implicando la perforazione di pozzi profondi per lo scambio di energia con il terreno, la tecnologia offre una fonte energetica inesauribile e indipendente dalle condizioni atmosferiche, come dimostrato dalla loro applicazione con successo nel Complesso monumentale del Recinte Modernista de Sant Pau a Barcellona⁹ (Dotor, Onecha and González, 2014), sebbene sia più indicata per insediamenti di grandi dimensioni, richiedendo un significativo impegno economico per la realizzazione delle opere civili (Fig. 16; Chavot et alii, 2018).

Appare utile menzionare l'importante lavoro svolto dall'ICOMOS Spagna, che ha riunito un gruppo di esperti provenienti da varie regioni del Paese per affrontare in modo pratico le sfide connesse allo sviluppo delle energie rinnovabili nel contesto del Patrimonio Culturale. Il frutto di questo impegno è la pubblicazione nel 2023 di Linee Guida per l'installazione di impianti di energia rinnovabile e soprattutto per limitarne il potenziale impatto sul Patrimonio (UNESCO et alii, 2022) mediante l'impiego di strumenti come le Heritage Impact Assessment (HIA; Ashrafi, Neugebauer and Kloos, 2022).¹⁰

Le HIA si presentano come preziosi strumenti elaborati da specialisti del settore per individuare i possibili effetti che i progetti di efficienza energetica potrebbero avere sulla salvaguardia o la gestione del Patrimonio Culturale, con l'obiettivo di evitare soluzioni standardizzate e preservare la varietà tipologica e paesaggistica di ciascuna area geografica. Esse identificano le zone coinvolte, conducono un'analisi approfondita del contesto specifico, valutano gli impatti, esplorano alternative valide e prendono in considerazione eventuali misure di mitigazione e valorizzazione (Seyedashrafi et alii, 2017). Gli studi si avvalgono di foto aeree e fotomontaggi per comprendere meglio la complessità e l'integrazione dei nuovi sistemi e infrastrutture, facilitando così il processo decisionale; un esempio tipico è la valutazione della fat-

tibilità dell'installazione di pannelli solari su edifici con tetti piani o inclinati per garantire un impatto visivo minimo o limitare l'installazione nelle parti meno visibili (Rodwell and Turner, 2018).

Oltre che valutare l'impatto paesaggistico degli impianti, le HIA conducono un'analisi dettagliata sulle condizioni strutturali delle coperture che, a causa dei nuovi carichi, potrebbero richiedere interventi di consolidamento, rinforzo strutturale o modifiche alle strutture esistenti, oppure danneggiare le scandole, le tegole, le murature d'attico o le strutture lignee di pregio. Nonostante siano strumenti efficaci le HIA devono ancora individuare ulteriori analisi di protezione e di minore impatto paesaggistico, implementando misure di compensazione economica per le comunità locali e incentivando la creazione di partenariati pubblico / privato per condividere i benefici.

Da queste riflessioni emerge che l'obiettivo di conciliare i cambiamenti climatici con la conservazione del Patrimonio Culturale può essere raggiunto attraverso le seguenti strategie: coinvolgere tutte le parti interessate nei processi decisionali; evitare soluzioni progettuali e tecniche standardizzate, attivando valutazioni specifiche dell'impatto sul Patrimonio costruito e paesaggistico; elaborare soluzioni legislative innovative e una gestione fiscale favorevole per le comunità locali coinvolte; promuovere le migliori pratiche attraverso la redazione di documenti come il World Heritage and Wind Energy Planning pubblicato dall'UNESCO (2021) in collaborazione con il Ministero francese della Transizione Ecologica, che include casi studio di impianti sostenibili (Fig. 17).¹¹

Conclusioni | Il saggio ha messo in evidenza che i temi dell'efficienza energetica e della sostenibilità sono cogenti e che un approccio alla Conservazione del Patrimonio Culturale improntato alla 'innovability' un è obiettivo cruciale. Tale approccio per il miglioramento dell'efficienza energetica dei Beni culturali deve essere anche strategico nel valutare prioritari l'autenticità, l'integrità e il valore storico-culturale degli edifici e dei paesaggi, senza precludere a priori l'integrazione di tecnologie innovative finalizzate a ridurre l'impatto ambientale e massimizzare le prestazioni energetiche.

Nell'ambito dei paesaggi culturali la produzione su larga scala di energia attraverso turbine eoliche e pannelli solari può avere un impatto significativo; pur contribuendo alla decarbonizzazione la loro presenza può alterare il carattere identitario dei paesaggi costieri e dell'entroterra poiché le turbine eoliche diventano elementi predominanti nel paesaggio e i campi fotovoltaici modificano la percezione del paesaggio attraverso riflessi e cambiamenti cromatici (Lucchi, 2022). Garantire una transizione equa verso la decarbonizzazione significa affrontare e non ignorare questioni di natura strategico-politica poiché il paesaggio viene modificato dall'influenza / interferenza di queste installazioni e delle infrastrutture associate, innescando una serie di effetti secondari sulle comunità locali, quali lo spopolamento, l'abbandono di mestieri e tradizioni, la riduzione dell'attività agricola e dell'allevamento e, non da ultimo, anche un forte impatto sul turismo culturale.

Una delle sfide principali sta proprio nel trovare un equilibrio tra la necessità di preservare i sistemi costruttivi originari e i valori paesaggistici e di ridurre il consumo energetico anche attraverso il

monitoraggio dei consumi e il coinvolgimento degli utenti (Gaspari et alii, 2022). È indubbio che gli interventi volti a migliorare l'efficienza energetica nel Patrimonio Culturale offra benefici tangibili, ben oltre la riduzione delle emissioni di carbonio: attraverso l'isolamento termico e l'efficientamento dei sistemi di illuminazione e di climatizzazione si migliora il comfort, la sicurezza e l'accessibilità degli utenti con significativi vantaggi economici e gestionali, contribuendo al contempo a una distribuzione più efficace delle risorse e una sostenibilità a lungo termine.

Today, sustainability is a critical issue in the debate on heritage conservation and management and finds wide acceptance as an unavoidable challenge in preserving and enhancing the built heritage with historical and cultural value. Originally enunciated and promoted in the Brundtland Report (WECD, 1987) in the late 1980s, the topic of sustainability came later in the context of Cultural Heritage through the UNESCO (1998) Intergovernmental Conference on Cultural Policies for Development, held in Stockholm in 1998, a topic initially focused on three pillars (economic, social and environmental); then, it declined in the cultural sphere on a fourth pillar.

Over the years, different interpretations have emerged about the consistency of the commitment needed to achieve high quality and sustainability levels of Cultural Heritage (Blanc, 2020; Carbonara, 2021); among them, the relationship between conservation and fruition through integrated and dynamic processes; the adoption of preventive solutions to guarantee the longevity of traditional and valuable built heritage; new forms of governance, with attention to the local identity dimension and the participation of citizens in decisions on the future of the Heritage; the recognition of the economic contribution of the Heritage towards society and the context; the value of the social dimension and the continuous reinterpretation of sites; finally, the attention to other crucial aspects for the future of the Cultural Heritage.¹

If, on the one hand, there is the need to put in place actions of valorisation, fruition and communication necessary to reactivate the Cultural Heritage by resolving the traditional dichotomy between the main instances of 'conservative' and 'fruitful' (Ruggieri and Sposito, 2012; Sposito and Scalisi, 2018), on the other hand, concerning the new challenges of contemporaneity, it is necessary to reflect on the role that the Heritage plays in the environmental issue, with particular reference to the climate emergency (Fig. 1; Franco and Mauri, 2024).

It is increasingly common to read news reports of extreme weather events with irreversible consequences for Cultural Heritage: last year alone, devastating fires affected thousands of hectares of forests in Spain, Italy and Greece, while floods in Libya wiped out entire villages; furthermore, if temperatures continue to rise at the current rate, the melting of the polar ice caps will cause an irreparable rise in sea levels. In 2018, the journal Nature Communication published a study (Reimann et alii, 2018) on the risks of coastal erosion and flooding for recognised World Heritage sites along the Mediterranean coast: the conclusions

were and still are bleak, predicting partial or total submergence of cities such as Venice and archaeological sites such as Leptis Magna in Libya.

In 2019, Europe approved the Green Deal (European Commission, 2019) to address the effects of the climate crisis; this and other sets of policy initiatives aim to make Europe climate-neutral by 2050, as well as to reduce carbon emissions by 55% by 2030 compared to previous levels in 1990 (Eckert and Kovalevska, 2021; Skjærseth, 2021). One trillion euros are needed for mitigation, adaptation and resilience policies to reach these targets (European Commission, 2021, 2022).

The building sector is known to be a large consumer of energy (IEA, 2021), which is necessary to provide adequate comfort and services to its users and to mitigate greenhouse gas emissions; two essential and complementary approaches to this critical issue highlight, aimed firstly at improving efficiency to reduce energy consumption and secondly at integrating renewable energy sources

to power the required services. If improving the built heritage's energy performance is essential in facing the climate emergency, the measures implemented for this necessary energy transition can potentially jeopardise its typological, material-constructive, and sometimes even structural values. One should remember that European directives and their transposition into national legislation in the countries of the Old Continent often recommend, for example, thermal insulation of façades and roofs. This approach may significantly improve the energy efficiency of a considerable part of the built environment. Still, it may also entail substantial alterations to the facies and distinctive architectural features of buildings with a high cultural relevance.²

Indiscriminate interventions on certain types of envelope risk negatively affecting the historical-aesthetic value and contributing to homologation, erasing languages, styles and stratifications that, over time, have contributed to defining not only

the identity of an architectural artefact but also the character of a city or a site (Saleh and Saied, 2017). There is an apparent contradiction in terms between the energy efficiency of buildings and the preservation of their historical and cultural value: thermal insulation measures often clash with the presence of decorative apparatuses or visible stone or wooden elements, as well as with the variegated range of other materials that are the expression of a compositional, constructive and material language specific to a consolidated architectural typology.

It would be advisable for the performance requirements to meet the energy efficiency of traditional buildings to include exemptions for retrofitting as necessary improvements, subject to evaluation by experts in the field of built heritage design and approved by the conservation authorities, ensuring their compatibility with conservation objectives (Fig. 2).

A constant feature of architectural heritage is the transmission of knowledge and experience acquired over the centuries by artisans and architects. These people have refined building techniques and systems and enhanced the value of traditional materials, responding to the need to create durable buildings that harmoniously balance the use of local resources, user comfort, and environmental protection.

Although specialised artisans are often no longer available in their local context, even today, the revival of pre-industrial craftsmanship demonstrates its innovative approach. The advent of industrialisation has marked a profound change in construction processes. However, traditional buildings still represent a valuable 'handbook' from which lessons of resilient innovation can be learnt: preserving the original technological excellence of historical architecture seems necessary despite being subject to the imperative of energy transition. A prime example is passive bioclimatic systems, rooted in the building traditions of the past, which offer a more sustainable alternative to the uncritical adoption of contemporary technologies.

This reflection advocates reintroducing traditional building methods, which are already intrinsically sustainable (Saeli and Campisi, 2020). The architecture of the past is distinguished, among other things, by the variety of approaches and the wealth of solutions, perfectly adapted to the climatic contexts, the typical materials of each territory, and the needs of its inhabitants. In a paradox, by preserving and reinterpreting past techniques, we could prepare ourselves more consciously for the bioclimatic technological innovation of the future.

This essay aims to illustrate several design solutions with a bioclimatic imprint, also deduced from journeys and direct analyses carried out by the authors, which may offer valid food for thought on the potential of a re-proposition, also in terms of energy, of specific sustainable technological solutions found in buildings with historical and cultural value in the Mediterranean area (Salkini, Greco and Lucente, 2017; Kesseiba and El-Husseiny, 2019): the renovation of historic buildings with bioclimatic approaches offers interesting insights on various fronts, ranging from the judicious choice of materials and construction systems to energy savings and ornamental aesthetics. Adopting de-



Fig. 9 | Traditional three-arched loggias in Beirut (Lebanon) allow the creation of multifunctional spaces with filtered light, depending on the time of year and needs (credit: X. Casanovas).

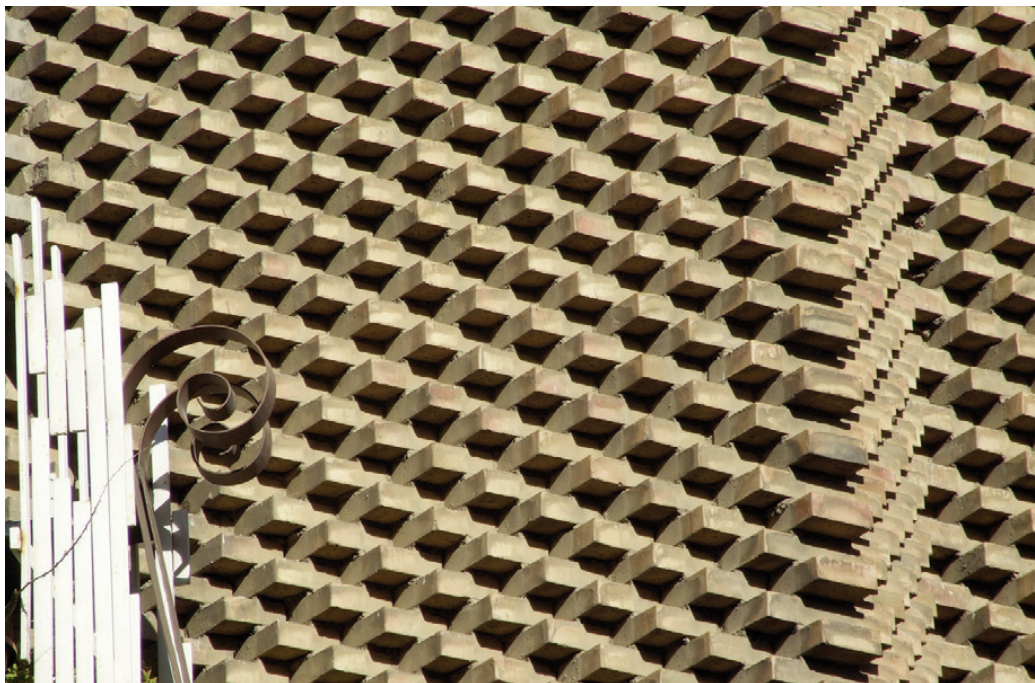


Fig. 10 | A façade in Esplugues (Spain): the settling of the bricks creates shaded areas and reduces the impact of solar radiation on the façade (credit: X. Casanovas).

Figs. 11, 12 | Aleppo (Syria) and Baia Mare (Romania): the use of traditional materials directly linked to the local context is essential to maintaining the sustainability of Cultural Heritage (credits: X. Casanovas).

sign solutions centred on the environmental sustainability of traditional technologies enhances the historical and Cultural Heritage. It reduces the impact of the uncritical introduction of non-traditional, new-generation energy efficiency systems.

For this purpose, we will examine some emblematic cases from various countries that use local materials for better thermal insulation and resilience to typical regional weather conditions. The optimal design of open spaces, façades, and roofs for ventilation, natural lighting, and solar control technologies will also receive attention. It will also discuss the installation of photovoltaic, solar thermal, geothermal and wind energy systems that help reduce energy consumption and make historic buildings more sustainable and resilient to the climate challenges of the Mediterranean. Finally, the need in Europe for experts in Building Restoration figures and the sharing of knowledge between research institutes and the world of work (professionals and companies) stands out. The aim is to show how the choices of the past and the innovative and sustainable solutions of the future can coexist harmoniously, demonstrating how historical heritage can be a reliable reference point for the future.

Solutions for solar control, natural ventilation, and exploitation of thermal inertia | A crucial element in architectural design is the correct orientation of buildings. It governs direct exposure to or protection from sunlight and exploits wind as a renewable resource for natural ventilation during the day or night; correct exposure can produce benefits intimately linked to the local context.

In cities developed on mountain slopes, the layout of streets follows the orography of the terrain and the staggered arrangement of buildings along the slope lines suggested by the orography, facilitating cross-ventilation and sunshine (Fig. 3). On the contrary, in fortified settlements, such as

the 'ksar' villages in the pre-Saharan valleys, have a compact urban layout and the dwellings feature a small number of openings in the façades, which are helpful to protect them from extreme climatic conditions, such as temperature fluctuations between day and night, or sandstorms. In desert regions, the palm vegetation also acts as a natural barrier to sunlight and hot southerly winds.

In urban areas, it is crucial to design street architecture with the local climatic conditions in mind: in the historical cities of central Europe with a cold climate, it is expected to find buildings with arcades set back from the façade line, which shelter pedestrians from rain and wind; on the contrary, in the warm regions of the Mediterranean and the Middle East, porticoes (even vaulted) or semi-covered loggias have light pergolas covered with deciduous vegetation, with vines and jasmine, to shield passers-by from solar radiation in summer and allow light to pass through in winter; this aspect, fundamental for the outdoor life of communities, also promotes sociability, a typical characteristic of Mediterranean regions with a temperate climate (Fig. 4; Moschella et alii, 2013).

In hot climates, an innovative solution to optimise local environmental conditions is the construction of 'badgir' or wind towers. This building typology characterises the urban profile of many cities in the Middle East, especially in Iran and neighbouring regions. In Yazd (Iran), known as the 'city of wind towers', large buildings feature inner courtyards with fountains and towers, creating zones of coolness and tranquillity (Figs. 5, 6); a similar example can be found in the 'malqaf' in Cairo, an intelligent building system that captures the cool breeze of the Nile and directs it into the main domestic spaces, offering natural ventilation and cooling. During the hot summer in the Mediterranean, people exploited the so-called 'Sirocco rooms', artificial underground structures built near a water source to recreate a natural cave's pleas-

ant, excellent conditions. The study and conservation of these surviving structures provide a valuable approach to understanding simple passive cooling systems, the principles of which could also be adopted in modern buildings for efficient energy control (Saeli and Saeli, 2015; Saeli, Saeli and Campisi, 2014).

Rupestrian architecture, which is widespread in many countries, is also an ideal solution for regions characterised by extreme climates: settlement in natural caves or underground environments makes it possible to mitigate both the intensity of summer heat and winter cold by exploiting the thermal inertia of the ground and reducing exposure to façade or roof surfaces. Even today, this architectural typology represents an effective and appropriate response to the climatic challenges of specific geographical areas (Fig. 7; Yaghoubi, Sabzevari and Golsheshan, 1991; Musotto, 2017; Liu, Jimenez-Bescos and Calautit, 2023).

Microclimate management and natural bioclimatic passive cooling systems | The creation of 'filter spaces', located between the interior and exterior of buildings, has always favoured an optimal microclimate for living comfort that varies according to season and time of day (Davidová, Barath and Dickinson, 2023; El-Hitami, Mahall and Serbest, 2023). The diversification of such spaces, both in terms of configuration and function, often contributes to defining the architectural identity of a place, especially in the context of built heritage.

An eloquent example of these spaces is the 'galleries' on the upper floors of historic buildings, open or closed, adapting to the local climate due to their altimetric position. These tunnels used for everyday activities (such as crop drying, especially in farming communities that still use them for this purpose) have a variety of names: 'loggia' in Italy,

'solana' in Catalonia, 'riwaq' in Palestine, 'iliakos' in Cyprus and other names. These spaces are crucial in hot and cold climates; in the latter case, the covered galleries act as veritable greenhouses, trapping heat for heating the building's inner rooms. An interesting variant in the Middle East is the 'iwan', an interior room with an open façade offering a multifunctional space, both covered and uncovered; also noteworthy is the Arabic 'west ed-dar' (centre of the house), whose name declares the importance of privacy in Islamic culture (Gaitani, Mihalakakou and Santamouris, 2007).

There is no shortage of historical references to patio houses (from the Hellenistic house with peristyle to the Roman domus for classical architecture), and the typological tradition has been kept alive over the centuries, as witnessed by Gothic or Renaissance palaces and many other qualifying examples in terms of style, distribution and functions. Despite its historical, geographical and cultural diffusion, the patio has always been varied: the proportions in plan and section play an important role in adapting to the specific context, offering the best response to the local climate.

From a thermal point of view, the patio functions as a 'reservoir' of air whose temperature can cool the adjacent spaces with natural ventilation, especially in desert climates where it has small plan dimensions and fronts that are high enough to shade its walkable surface for a good part of the day; in more temperate climates it is possible to create a larger patio while maintaining its bioclimatic and organisational functions intact (Fig. 8). In addition to proper geometric-dimensional design, a patio needs both endemic vegetation, which provides shade and coolness, and water, in the form of specially allocated fountains, as its evaporation lowers perceived temperatures and contributes to environmental well-being (Zamani, Heidari and Hanachi, 2018; Guedouh and Zemmouri, 2017).

Local climatic conditions strongly influence the air conditioning of buildings using natural bioclimatic systems; natural cooling systems do not always and in all cases activate, and this has led to adaptation practices in the use of rooms about the season in which the necessary thermo-hygrometric comfort could be ensured for its inhabitants (Fig. 9). The design of roofing and façade systems in the Mediterranean has traditionally dealt with the climatic zone of reference, seeking to maximise its exploitation and provide greater protection from the sun's rays. While roofing systems sometimes intercept most of the direct sunlight and at other times are configured with the geometry of vaults and domes to reduce the impact of heat on the interior spaces below and the action of the wind, in very hot climates, windows will be on the east- and west-facing façades, which suffer less solar radiation (Haghighi, Golshaahi and Abdinejad, 2015; Faghih and Bahadori, 2011).

In regions with high solar radiation, canopies and overhanging roof pitches provide a simple and effective solution: exploiting the different angles of the sun's rays can provide shade during the summer and allow the sun to warm indoor spaces in the winter. To improve natural ventilation in hot climates, construction practice in the Mediterranean area also suggests installing small openings at the top of doors and windows (fanlights), thus facilitating the escape of warm air from rooms and activating ventilation (Fig. 10).

The breathability of the envelope, light regulation systems and the shared experience of a European project |

In pre-industrial construction, readily available local materials such as unfired earth, stone, brick, lime mortar or gypsum and wood were widely used, together with agricultural materials such as straw. This practice was based on the massive requirement of load-bearing walls made of unfired earth or stone, exploiting thermal inertia to improve internal comfort: the walls functioned as 'reservoirs' of heat, gradually releasing it inside and guaranteeing a comfortable temperature during the night, the same principle applies to flat rammed earth roofs and other types of solar slabs. Also noteworthy was the breathability of historical masonry, which allowed for the balancing of external and internal humidity thanks to the ability to establish a hygrometric balance between the absorbed and evaporated water content in both the liquid and gaseous state, achieved through the use of highly porous stone materials and breathable coatings such as lime, gypsum or unfired earth plasters (Fig. 11, 12; Zeayter, El-Bastawissi and Mohsen, 2022).

Historical architecture also offers various solutions for regulating the lighting inside buildings through various architectural elements such as doors, French windows and windows characterised by different geometric shapes. These technical elements aim to fulfil three main requirements: thermal insulation, shading and ventilation. Other practical and quick-to-use technical elements are curtains, as they can come in various materials and types, and their adjustment allows you to regulate the amount of light filtering into interior spaces. In Islamic societies, these technical elements remain in use to ensure privacy; in particular, the 'mashrabiya' is a wooden grid that screens openings, allowing air and light to pass freely while at the same time protecting against prying eyes and visibility to the outside world (Fig. 13, 14; Bagasi and Calautit, 2020; Taki and Kumari, 2023).

While it is true that the challenge of Historic Architectural Conservation lies in the design's ability to balance the preservation of its intrinsic values with adaptation to contemporary technologies, it is equally fundamental to consider the durability and resilience demonstrated by the built heritage over the centuries. These aspects emphasise the versatile adaptability of traditional building techniques, suggesting the imperative that restoration interventions respect traditional materials and methods: responsible restoration / recovery must evaluate every aspect of the building, maintaining its historical integrity while meeting modern requirements for functionality, aesthetics and sustainability. It requires an in-depth understanding of structural aspects and building systems, avoiding speculative interventions and providing clear guidelines for the future use of the building; only after an exhaustive evaluation will it be possible to introduce active environmental control systems, favouring the use of renewable energy sources.

From this perspective, the European project Smart Rehabilitation 3.0³, co-financed by the European Union under the Erasmus+ programme, is relevant. It aims to bridge the gap between the training offered in the building rehabilitation sector and the real social needs by creating a new professional profile, the Building Recovery Expert. Among the aims of the project is also the estab-

lishment of an open-access digital library for the dissemination of knowledge, consisting of two databases: the first catalogues information on current technological innovations, classifying them according to the different parts of the building and their construction systems, with a focus on original materials and compatible and innovative construction techniques; the second focuses on exemplary restoration and recovery interventions of the historical building heritage, analysing building types, examples of functionalisation, etc.⁴

The project explores 'intelligent' building restoration strategies applicable to traditional Mediterranean architecture to evaluate a possible integration of modern technologies and sustainable practices in historic buildings' restoration and conservation process. A crucial element of these strategies is using advanced materials and construction methods that respect the buildings' original characteristics while ensuring excellent structural reliability and energy efficiency. Solutions include implementing smart technologies – such as sensors, digital systems and advanced energy management systems – to monitor and optimise the environmental conditions inside historic buildings, thus helping preserve their historical value and improve their sustainability.

Renewable energies and historic buildings |

Tackling climate change requires new ways of producing energy that allow a shift from fossil fuels to renewable sources such as solar, wind and geothermal, initiating a transition with new challenges for the conservation and enhancement of traditional buildings and monuments that animate the debate in the scientific and professional worlds: from a perspective aimed at the protection of heritage values, there emerges a certain reluctance towards the use of photovoltaic panels on buildings and monumental sites, even though the ban on such installations prevents the inhabitants of historical centres and protected properties from having access to clean energy, contradicting the most recent international and European Community policies to combat climate change (De Medici, 2021).

The recent conflict in Ukraine has resulted in a significant increase in energy costs, and preventing self-supply would create economic damage for owners of heritage buildings; at the same time, avoiding the construction of wind and photovoltaic fields in suburban areas would hinder access to clean energy even for residents of historic centres and listed buildings. It is, therefore, essential to strike a balance between heritage conservation and sustainable energy production, which implies exploring innovative solutions and technologies that minimise landscape impact and maximise the use of renewable energy, contributing to both environmental sustainability and heritage conservation (Fig. 15).

The criteria for assessing the impact of solar installations on historic buildings varies widely between European countries. Edinburgh, one of the first cities to commit to decarbonisation, installed photovoltaic panels on the Castle, a UNESCO World Heritage Site: a careful analysis conducted by specialists in the field, aimed at mitigating the impact⁵, found the solution by placing the panels behind the parapets; a similar solution is in place at Gloucester Cathedrals⁶ and York⁷ or on the roof of the Paul VI Audience Hall, designed by



Fig. 13 | The Assam Pacha in Damascus (Syria) is a building covered by large domes, open or closed, with large spaces and different forms of natural lighting; the building underwent restoration while respecting and preserving all the values of its architectural identity (credit: X. Casanovas).

Fig. 14 | The architecture of the City of Jeddah (Saudi Arabia) features large 'mashrabiyyas' (roshans); their preservation is an essential element for urban regeneration while respecting heritage values (credit: X. Casanovas).



Fig. 15 | In Legazpi (Spain), as in many other rural contexts, photovoltaic panels are now in place, substantially impacting the territory (credit: X. Casanovas).

Fig. 16 | The installation of geothermal energy in the St. Pau Complex in Barcelona (Spain) achieved excellent levels of comfort, without the systems being visible, in a UNESCO World Heritage monument (credit: X. Casanovas).

Fig. 17 | In Budapest (Hungary), a UNESCO World Heritage Site, the challenge of integrating renewable energies is not an easy one, and through various solutions, a balance between energy sustainability and respect for heritage is being sought (credit: X. Casanovas).

architect Pier Luigi Nervi and adjacent to St. Peter's Basilica in the Vatican City, whose installation covers an area of 5,000 sqm⁸ (Karimi et alii, 2024). In Spain, the need for specific regulations on installing photovoltaic systems on the roofs of historic centres and listed buildings has created significant problems and hindered progress in this area.

A viable renewable alternative for historic buildings is geothermal energy. However, implying the drilling of deep wells to exchange energy with the ground, the technology offers an inexhaustible and weather-independent energy source, as demonstrated by their successful application in the Monumental Complex of the Recinte Modernista de Sant Pau in Barcelona⁹ (Dotor, Onecha and González, 2014), although it is more suitable for large settlements, requiring a significant economic commitment for the implementation of civil works (Fig. 16; Chavot et alii, 2018). It is worth mentioning the important work carried out by

ICOMOS Spain, which has brought together a group of experts from different regions of the country to address practically the challenges related to the development of renewable energy in the context of Cultural Heritage. The fruit of this effort is the publication in 2023 of Guidelines for the installation of renewable energy installations and especially for limiting their potential impact on Heritage (UNESCO et alii, 2022) through the use of tools such as Heritage Impact Assessments (HIA; Ashrafi, Neugebauer and Kloos, 2022).¹⁰

HIAs present themselves as valuable tools developed by specialists in the field to identify the possible effects of energy efficiency projects on the preservation or management of Cultural Heritage, avoid standardised solutions, and preserve each geographical area's typological and landscape variety. They identify affected areas, conduct an in-depth analysis of the specific context, assess impacts, explore viable alternatives and consider possible mitigation and enhancement

measures (Seyedashrafi et alii, 2017). Studies make use of aerial photos and photomontages to understand better the complexity and integration of new systems and infrastructures, thus facilitating decision-making; a typical example is the assessment of the feasibility of installing solar panels on buildings with flat or sloping roofs to ensure minimal visual impact or limit installation in the least visible parts (Rodwell and Turner, 2018).

In addition to assessing the landscape impact of installations, HIAs conduct a detailed analysis of the structural condition of roofs that, due to new loads, may require consolidation, structural reinforcement or modifications to existing structures, or damage to shingles, roof tiles, attic masonry or valuable wooden structures. Despite being practical tools, HIAs must identify further analyses of protection and reduced landscape impact, implement economic compensation measures for local communities and encourage public / private partnerships to share the benefits.

From these reflections, it emerges that the objective of reconciling climate change with the preservation of Cultural Heritage research activities is possible through the following strategies: involving all stakeholders in decision-making processes, avoiding standardised design and technical solutions, activating specific assessments of the impact on the built heritage and landscape; elaborating innovative legislative solutions and favourable fiscal management for the local communities involved; promoting best practices through the drafting of documents such as the World Heritage and Wind Energy Planning published by UNESCO (2021) in collaboration with the French Ministry of Ecological Transition, which includes case studies of sustainable installations (Fig. 17).¹¹

Conclusions | The essay highlighted that the issues of energy efficiency and sustainability are compelling and that an ‘inability’ approach to Cultural Heritage Conservation is a crucial objective. Such an approach to improving the energy efficiency of Cultural Heritage must also be strategic in prioritising the authenticity, integrity, and historical-cultural value of buildings and landscapes without precluding the integration of innovative technologies aimed at reducing environmental impact and maximising energy performance.

Notes

1) For more information, see the webpages: culture.ec.europa.eu/it/cultural-heritage/cultural-heritage-in-eu-policies/sustainability-and-cultural-heritage; cordis.europa.eu/article/id/400947-heritage-at-risk-eu-research-and-innovation-for-a-more-resilient-cultural-heritage; whc.unesco.org/en/wind-energy/protecting/ [Accessed 4 May 2024].

2) For more information, see the webpage: europarl.europa.eu/news/it/press-room/20230206IPR72112/energy-performance-of-buildings-climate-neutrality-by-2050 [Accessed 4 May 2024].

3) For more information on RehabiMed publication, see the webpage: rehabimed.net/category/publications/rehabimed-method/ [Accessed 4 May 2024].

4) For more information, see the webpages: smart-rehabilitation.eu; smart-rehabilitation.eu/digital-library/ [Accessed 4 May 2024].

5) For more information, see the webpage: historiconvironment.scot/about-us/news/bright-future-for-edinburgh-castle-as-solar-panels-installed/ [Accessed 4 May 2024].

6) For more information, see the webpage: historicengland.org.uk/advice/caring-for-heritage/places-of-worship/cathedrals/gloucester/ [Accessed 4 May 2024].

7) For more information, see the webpage: archbishopofyork.org/news/latest-news/pioneering-york-minster-leads-way-photovoltaic-roof-installation-plan [Accessed 4 May 2024].

8) For more information, see the webpage: geagency.it/vaticano-sempre-piu-sostenibile-con-pannelli-solari-colonnine-e-led/ [Accessed 4 May 2024].

9) For more information, see the webpages: santpaubarcelona.org/en/noticia/la-doble-certificacio-iso-14-001-i-15-001-un-reconeixement-a-la-gestio-ambiental-i-energetica-del-recinte-modernista/; usgbc.org/projects/sant-pau-recinte-modernista-complex [Accessed 4 May 2024].

10) For more information, see the webpage: whc.unesco.org/en/activities/907 [Accessed 4 May 2024].

11) For more information, see the webpage: whc.unesco.org/en/wind-energy-planning/ [Accessed 4 May 2024].

Within cultural landscapes, large-scale energy production through wind turbines and solar panels can have a significant impact; while contributing to decarbonisation, their presence can alter the identity character of coastal and inland landscapes as wind turbines become predominant elements in the landscape and photovoltaic fields alter the perception of the landscape through reflections and colour changes (Lucchi, 2022). Ensuring an equitable transition to decarbonisation means addressing and not ignoring issues of a strategic-political nature as the landscape is modified by the influence / interference of these installations and associated infrastructures, triggering a series of secondary effects on local communities, such as depopulation, the abandonment of trades and traditions, the reduction of agricultural activity and livestock breeding and, last but not least, also a substantial impact on cultural tourism.

One of the main challenges is to find a balance between the need to preserve original building systems and landscape values and to reduce energy consumption also by monitoring consumption and involving users (Gaspari et alii, 2022). There is no doubt that interventions aimed at improving energy efficiency in Cultural Heritage offer tangible benefits far beyond the reduction of carbon emissions: through thermal insulation and the improve-

References

Ashrafi, B., Neugebauer, C. and Kloos, M. A. (2022), “Conceptual Framework for Heritage Impact Assessment – A Review and Perspective”, in *Sustainability*, vol. 14, issue 1, article 27, pp. 1-15. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su14010027 [Accessed 4 May 2024].

Bagasi, A. A. and Calautit, J. K. (2020), “Experimental field study of the integration of passive and evaporative cooling techniques with Mashrabiya in hot climates”, in *Energy and Buildings*, vol. 225, article 110325, pp. 1-15. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110325 [Accessed 4 May 2024].

Blanc, F. (2020), “Patrimoni in divenire – Progettare la loro rigenerazione | Heritages in progress – Designing their regeneration”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 8, pp. 54-63. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/852020 [Accessed 4 May 2024].

Carbonara, G. (2021), “La ‘valorizzazione’ – Per una rinnovata vitalità dei monumenti | ‘Valorisation’ – For a renewed vitality of the monuments”, in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 9, pp. 54-61. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/952021 [Accessed 4 May 2024].

Chavot, P., Masseran, A., Bodin, C., Serrano, Y. and Zougrana, J. (2018), “Geothermal Energy in France – A Resource Fairly Accepted for Heating but Controversial for High-Energy Power Plants”, in Manzella, A., Allansdottir, A. and Pellizzone, A. (eds), *Geothermal Energy and Society*, vol. 67, Springer, Cham, pp. 105-122. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-319-78286-7_8 [Accessed 4 May 2024].

Davidová, M., Barath, S. and Dickinson, S. (2023), “Ambienti culturali con prospettive non solo umane – Prototipazione attraverso ricerca e formazione | Cultural environments with more-than-human perspectives – Prototyping through research and training”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 13, pp. 165-178. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/13142023 [Accessed 4 May 2024].

De Medici, S. (2021), “Italian Architectural Heritage

and Photovoltaic Systems – Matching Style with Sustainability”, in *Sustainability*, vol. 13, issue 4, article 2018, pp. 1-23. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su13042108 [Accessed 4 May 2024].

Dotor, A., Onecha, B. and González, J. L. (2014), “El bienestar térmico más allá de las exigencias normativas – Dos casos, dos enfoques | Thermal Comfort beyond legislation – Two examples, two approaches”, in *International Conference – Energy efficiency in historic buildings, Madrid, 29-30 September 2014*, pp. 201-209. [Online] Available at: upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/85214/Eenergy-efficiency-and-historic-buildings_Acta.pdf [Accessed 4 May 2024].

Eckert, E. and Kovalevska, O. (2021), “Sustainability in the European Union – Analyzing the Discourse of the European Green Deal”, in *Journal of Risk and Financial Management*, vol. 14, issue 2, article 80, pp. 1-22. [Online] Available at: doi.org/10.3390/jrfm14020080 [Accessed 4 May 2024].

El-Hitami, H., Mahall, M. and Serbest, A. (2023), “Ecologia dello spazio – Progetto architettonico e relazioni transfrontaliere | An ecology of space – Architectural design for transboundary relationships”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 13, pp. 153-164. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/13132023 [Accessed 4 May 2024].

European Commission (2022), *Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – REPowerEU – Joint European Action for more affordable, secure and sustainable energy*, document 52022DC0108, 108 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=COM%3A2022%3A108%3AFIN# [Accessed 4 May 2024].

European Commission (2021), *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – ‘Fit for 55’ – Delivering the EU’s 2030 Climate Target on the way to climate neutrality*, document 52021DC0550, 550 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/

- TXT/?uri=CELEX%3A52021DC0550&qid=1708525014805 [Accessed 4 May 2024].
- European Commission (2019), *Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – The European Green Deal*, document 52019DC0640, 640 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN [Accessed 4 May 2024].
- Faghih, A. K. and Bahadori, M. N. (2011), “Thermal performance evaluation of domed roofs”, in *Energy and Buildings*, vol. 43, issue 6, pp. 1254-1263. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.01.002 [Accessed 4 May 2024].
- Franco, G. and Mauri, S. (2024), “Reconciling Heritage Buildings’ Preservation with Energy Transition Goals – Insights from an Italian Case Study”, in *Sustainability*, vol. 16, article 712, pp. 1-22. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su16020712 [Accessed 4 May 2024].
- Gaitani, N., Mihalakakou, G. and Santamouris, M. (2007), “On the use of bioclimatic architecture principles in order to improve thermal comfort conditions in outdoor spaces”, in *Building and Environment*, vol. 42, issue 1, pp. 317-324. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.08.018 [Accessed 4 May 2024].
- Gaspari, J., Marchi, L., Oberosler, C. and Antonini, E. (2022), “Strumenti di monitoraggio per abitare il risparmio energetico nell’edilizia sociale | Monitoring tools as energy saving enablers in social housing context”, in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 12, pp. 136-145. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/12122022 [Accessed 4 May 2024].
- Guedouh, M. S. and Zemmouri, N. (2017), “Courtyard Building’s Morphology Impact on Thermal and Luminous Environments in Hot and Arid Region”, in *Energy Procedia*, vol. 119, pp. 153-162. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.063 [Accessed 4 May 2024].
- Haghighi, A. P., Golshaahi, S. S. and Abdinejad, M. (2015), “A study of vaulted roof assisted evaporative cooling channel for natural cooling of 1-floor buildings”, in *Sustainable Cities and Society*, vol. 14, pp. 89-98. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.scs.2014.08.005 [Accessed 4 May 2024].
- IEA – International Energy Agency (2021), *2020 Global Status Report for Buildings and Construction – Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector*. [Online] Available at: wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/34572/GSR_ES.pdf?sequence=3&isAllowed=y [Accessed 4 May 2024].
- Karimi, H., Adibhesami, M. A., Siamak, M., Hoseinzadeh, S., Movafagh, S., Estalkhsari, B. M. and Garcia, D. A. (2024), “Solar energy integration in heritage buildings – A case study of St. Nicholas Church”, in *Energy Reports*, vol. 11, pp. 4177-4191. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.egypro.2024.03.043 [Accessed 4 May 2024].
- Kesseiba, K. and El-Husseiny, M.-A. (2019), “Indicazioni per una sostenibilità low-cost dell’edilizia residenziale egiziana | Indications for low-cost sustainability in Egyptian residential construction”, in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 6, pp. 182-191. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/6172019 [Accessed 4 May 2024].
- Liu, M., Jimenez-Bescos, C. and Calautit, J. K. (2023), “Passive heat recovery wind tower – Assessing the overheating risk in summertime and ventilation heat loss reduction in wintertime”, in *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 58, article 103310, pp. 1-13. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.seta.2023.103310 [Accessed 4 May 2024].
- Lucchi, E. (2022), “Integration between photovoltaic systems and cultural heritage – A socio-technical comparison of international policies, design criteria, applications, and innovation developments”, in *Energy Policy*, vol. 171, article 113303, pp. 1-32. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.enpol.2022.113303 [Accessed 4 May 2024].
- Moschella, A., Salemi, A., Lo Faro, A., Sanfilippo, G., Detommaso, M. and Privitera, A. (2013), “Historic Buildings in Mediterranean Area and Solar Thermal Technologies – Architectural Integration vs Preservation Criteria”, in *Energy Procedia*, vol. 42, pp. 416-425. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.egypro.2013.11.042 [Accessed 4 May 2024].
- Musotto, L. (2017), “Habitat rupestri – Sostenibilità e Performance energetiche | Rupestrian Habitat – Sustainability and Energy Performance”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 2, pp. 61-66. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/282017 [Accessed 4 May 2024].
- Reimann, L., Vafeidis, A. T., Brown, S., Hinchel, J. and Tol, R. S. J. (2018), “Mediterranean UNESCO World Heritage at risk from coastal flooding and erosion due to sea-level rise”, in *Nature Communication*, vol. 9, article 4161, pp. 1-11. [Online] Available at: doi.org/10.1038/s41467-018-06645-9 [Accessed 4 May 2024].
- Rodwell, D. and Turner, M. (2018), “Impact Assessments for Urban World Heritage – European Experiences under Scrutiny”, in *Built Heritage*, vol. 2, suppl. 4, pp. 58-71. [Online] Available at: doi.org/10.1186/BF03545684 [Accessed 4 May 2024].
- Ruggieri Tricoli, M. C. and Sposito, C. (2012), *I Siti Archeologici – Dalla definizione del valore alla protezione della materia*, Flaccovio, Palermo. [Online] Available at: hdl.handle.net/10447/62166 [Accessed 4 May 2024].
- Saeli, M. and Campisi, T. (2020), “Architectural technologies for life environment: passive cooling strategies in the architectures of the Mediterranean area”, in *ArchTheo ’20 – Conference Proceedings of V International Architectural Design Conference, Istanbul, Özgür Öztürk Dakam Yayınları, 6 November 2020*, pp. 7-23.
- Saeli, M. and Saeli, E. (2015), “Analytical studies of the Sirocco room of Villa Naselli-Ambleri – A XVI century passive cooling structure in Palermo (Sicily)”, in *Journal of Cultural*, vol. 16, issue 3, pp. 344-351. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.culher.2014.06.006 [Accessed 4 May 2024].
- Saeli, M., Saeli, E. and Campisi, T. (2014), “The sirocco chambers – Passive cooling structures in the XVI century Palermo area”, in *Proceedings of the 6th International Congress | Science and technology for the safeguard of cultural heritage in the Mediterranean basin*, vol. II, Valmar, Roma, pp. 86-98.
- Saleh H. S. and Saied, S. Z. (2017), “Green Architecture as a Concept of Historic Cairo”, in *Procedia Environmental Sciences*, vol. 37, pp. 342-355. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.proenv.2017.03.064 [Accessed 4 May 2024].
- Salkini, H., Greco, L. and Lucente, R. (2017), “Towards Adaptive Residential Buildings Traditional and Contemporary Scenarios in Bioclimatic Design (the Case of Aleppo)”, in *Procedia Engineering*, vol. 180, pp. 1083-1092. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.268 [Accessed 4 May 2024].
- Seyedashrafi, B., Ravankhah, M., Weidner, S. and Schmidt, M. (2017), “Applying Heritage Impact Assessment to urban development – World Heritage property of Masjed-e Jame of Isfahan in Iran”, in *Sustainable Cities and Society*, vol. 31, pp. 213-224. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.scs.2017.01.002 [Accessed 4 May 2024].
- Skjærseth, J. B. (2021), “Towards a European Green Deal – The evolution of EU climate and energy policy mixes”, in *International Environment Agreements | Politics, Law and Economics*, vol. 21, pp. 25-41. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s10784-021-09529-4 [Accessed 4 May 2024].
- Sposito, C. and Scalisi, F. (2018), “Processo conservativo e significatività – Un approccio metodologico per la progettazione dei sistemi di protezione nei siti archeologici | Conservation process and significance – A methodological approach to plan shelters in archaeological sites”, in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 4, pp. 45-58. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/462018 [Accessed 4 May 2024].
- Taki, A. and Kumari, H. (2023), “Examining Mashra-biya’s Impact on Energy Efficiency and Cultural Aspects in Saudi Arabia”, in *Sustainability*, vol. 15, issue 13, article 10131, pp. 1-36. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su151310131 [Accessed 4 May 2024].
- UNESCO (2021), *World Heritage and wind energy planning – Protecting visual integrity in the context of the energy transition – Inspiring practices from four European countries*. [Online] Available at: whc.unesco.org/en/wind-energy-planning/ [Accessed 4 May 2024].
- UNESCO (1998), *Action Plan on Cultural Policies for Development*, adopted in the Intergovernmental Conference on Cultural Policies for Development, Stockholm, Sweden, 2 April 1998. [Online] Available at: culture-of-peace.info/annexes/declarations/Stockholm.pdf [Accessed 4 May 2024].
- UNESCO, ICCROM, ICOMOS and IUCN (2022), *Guidance and Toolkit for Impact Assessments in a World Heritage Context*, UNESCO, Paris. [Online] Available at: icomos.es/wp-content/uploads/2022/10/Guidelines-renewable-energy-related-infrastructures-and-cultural-heritage_ICOMOS-Spain.pdf [Accessed 4 May 2024].
- WCED – World Commission for Environment and Development (1987), *Our Common Future World*, Brundtland Report. [Online] Available at: are.admin.ch/are/en/home/media/publications/sustainable-development/brundtland-report.html [Accessed 4 May 2024].
- Yaghoubi, M. A., Sabzevari, A. and Golneshan, A. A. (1991), “Wind towers – Measurement and performance”, in *Solar Energy*, vol. 47, issue 2, pp. 97-106. [Online] Available at: doi.org/10.1016/0038-092X(91)90040-4 [Accessed 4 May 2024].
- Zamani, Z., Heidari, S. and Hanachi, P. (2018), “Reviewing the thermal and microclimatic function of courtyards”, in *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 93, pp. 580-595. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.rser.2018.05.055 [Accessed 4 May 2024].
- Zeyter, H., El-Bastawissi, I. Y. and Mohsen, H. (2022), “The impact of plastering on the hygrothermal behaviour of historical sandstone located in the coastal region of Lebanon”, in *APJ | Architecture and Planning Journal*, vol. 28, issue 1, article 11, pp. 1-8. [Online] Available at: doi.org/10.54729/PBEF5462 [Accessed 4 May 2024].

ARTICLE INFO

Received 15 May 2024
 Revised 17 May 2024
 Accepted 20 May 2024
 Published 30 June 2024

ENERGIA, TECNOLOGIA EMOTIVA E VALORE CULTURALE DEI DATI

Creare consapevolezza nell'utente con lo storytelling

ENERGY, EMOTIONAL TECHNOLOGY AND THE CULTURAL VALUE OF DATA

Creating user awareness through storytelling

Alessandro Valenti, Francesca Scalisi, Cesare Sposito
 con Laura Dellamotta e Alessandro Masserdotti

ABSTRACT

Il Design, inteso come disciplina moderna nella sua accezione più allargata è da sempre legato a doppio filo alla produzione, alla disponibilità e all'accessibilità dell'energia. Non esiste un progetto che sia frutto della creatività e dell'ingegno dell'uomo, materiale o immateriale, analogico o digitale, che non dipenda da essa; da questa atavica dipendenza bisogna uscire trovando strade alternative che ci conducano alla transizione energetica e per farlo e raggiungere l'equità sociale e ambientale c'è bisogno di accrescere il livello di consapevolezza degli esseri umani. In quest'ottica il saggio, a partire dai concetti di 'mitigazione', 'sufficienza', 'economia circolare' e 'innovability', illustra alcune sperimentazioni, dall'elevata replicabilità, condotte dallo Studio multidisciplinare Dotdotdot ricorrendo allo storytelling, alla tecnologia emotiva e al valore dei dati per generare consapevolezza negli utenti sul tema del contenimento dei consumi energetici.

Design, understood as a modern discipline in its broadest sense, has always been inextricably linked to energy production, availability and accessibility. Every project resulting from human creativity and ingenuity, whether material or immaterial, analogue or digital, depends on it; it is necessary to break free from this atavistic dependence by finding alternative paths that lead us to the energy transition. An increase in human awareness is required to accomplish this and achieve social and environmental equity. In this perspective, this paper, starting with the concepts of 'mitigation', 'sufficiency', 'circular economy' and 'innovability', illustrates a number of highly replicable experiments carried out by the multidisciplinary Dotdotdot Studio by employing storytelling, emotive technology and the value of data to generate awareness in users on the issue of energy conservation.

KEYWORDS

consumi energetici, narrazione, allestimento, coinvolgimento degli utenti, innovability
 energy consumption, storytelling, set-up, user engagement, innovability

Alessandro Valenti, Architect and PhD, is an Associate Professor of Interior Architecture at the University of Genoa (Italy). He has always been interested in new forms of living, focusing his research on the relationships between architecture, design, interiors and their hybridisation with other forms of knowledge. Email: alessandro.valenti@unige.it

Francesca Scalisi, Architect and PhD, is a Researcher at the University of Palermo (Italy). She conducts research on environmental sustainability issues, with particular emphasis on materials life cycle, ecological communication, nanostructured materials, and climate change mitigation strategies, pathways, measures and actions. Email: francesca.scalisi@unipa.it

Cesare Sposito, Architect and PhD, is an Associate Professor of Architecture Technology at University of Palermo (Italy). He is the co-Director of Agathón Magazine. His main research interests are environmental sustainability, innovative materials for architecture, nano-materials, and energy saving of buildings. E-mail: cesare.sposito@unipa.it

Laura Dellamotta and Alessandro Masserdotti, respectively Architect and Philosopher expert in interaction design, are the co-Founders, along with Giovanna Gardi and Fabrizio Pignoloni, of Dotdotdot, a multidisciplinary Firm based in Milan (Italy) that uses design and technology to create new forms of interaction between humans and the world. The Firm has always been involved in scientific research, collaborating with private companies, public bodies, and Universities. E-mail: laura@dotdotdot.it; alessandro@dotdotdot.it



Vaclav Smil (2023) è uno dei maggiori esperti sui temi del cambiamento climatico, dell'antropizzazione e dell'energia: il docente emerito presso l'Università di Manitoba a Winnipeg (Canada) nella recente opera dal titolo *Size – How to Explain the World* ripercorre la storia dell'innovazione tecnologica attraverso i grandi temi della produzione alimentare, del mondo materiale, della globalizzazione e dell'ambiente, evidenziando come spesso la loro narrazione corrente individui con troppa leggerezza soluzioni ai problemi sui temi dell'energia; Luca Galofaro (2024, p. 72) evidenzia sapientemente come il testo di Smil riesca a «[...] spiegare alcuni dei fatti fondamentali che governano le nostre possibilità di sopravvivenza, per comprendere quali sono le opportunità di modificarne drasticamente, e in tempi rapidi, quelle che saranno in futuro le dinamiche produttive messe in atto per rallentare i cambiamenti climatici. L'autore non offre nessuna soluzione, ma ci consegna gli strumenti per progettare il mondo che verrà».

Il volume assume rilevanza in questa sede per le potenzialità offerte dalle nuove metodologie di progetto, con lo sguardo coscientemente rivolto al consumo di energia che ogni azione antropica inevitabilmente determina e ai conseguenti effetti collaterali sul Pianeta; al contempo Vaclav Smil evidenzia la necessità di avviare, rispetto alle fonti di approvvigionamento, processi di efficientamento e di adeguamento ad auspicabili criteri di sostenibilità per ridisegnare un nuovo paradigma uomo-energia, nella consapevolezza che storicamente è sempre esistita una proporzionalità diretta tra innovazione tecnologica e capacità del genere umano di accumulare e utilizzare energia. «[...] Da una prospettiva biofisica fondamentale, sia l'evoluzione umana nella preistoria sia il corso della storia possono essere visti come una continua ricerca di modi per controllare depositi e flussi di energia in forme sempre più concentrate e versatili, allo scopo di convertirle, in modalità sempre più convenienti, a costi più bassi e con maggior efficienza in calore, luce e movimento» (Smil, 2021, p. 2).

Oggi, col tramonto dell'era della civiltà delle fonti fossili, la trasformazione e la salvaguardia dell'energia rappresentano una delle sfide maggiori per la sopravvivenza della Terra, sempre più minacciata dal cambiamento climatico, determinato, per il 97% degli scienziati, dall'attività antropica¹, con quasi il 40% delle emissioni mondiali di gas serra derivate dalla costruzione e dalla gestione degli edifici (IEA, 2023). Per affrontare una tale crisi servono azioni, «[...] prodotti e servizi che sappiano, da un lato continuare a rispondere ai bisogni dell'umanità, e dall'altro mitigare l'effetto serra. Il vincolo del raggiungimento degli obiettivi climatici diventa una grande opportunità di generazione di attività nuove, un driver di cambiamento sostanziale nelle attività esistenti e un acceleratore dei processi di innovazione. La sostenibilità assume il ruolo di piattaforma interpretativa determinante per dare direzione ai percorsi di innovazione» (Pardo, 2023, p. 39).

Il raggiungimento degli obiettivi individuati nell'Accordo di Parigi (UN, 2015a) e ribaditi nelle successive politiche europee finalizzate alla 'carbon neutrality' entro il 2030 (European Commission, 2021a) e alla 'climate neutrality' entro il 2050 (European Commission, 2021b) ci impongono un cambio di paradigma che deve essere di impronta olistica e coinvolgere tutti gli abitanti del Pianeta,

mettendo sullo stesso piano tanto il benessere dell'individuo quanto quello dell'intero ecosistema. Le politiche internazionali sono state prevalentemente orientate alla maggiore efficienza energetica dell'intero processo produttivo e delle costruzioni nella fase di esercizio; una tale visione tuttavia apre al potenziale paradosso di incentivare un modello di crescita illimitato, incompatibile con le risorse finite del nostro Pianeta e con i limiti planetari, alcuni dei quali sono stati già superati (Richardson et alii, 2023).

Mentre assistiamo all'edificazione di nuove città, quartieri o edifici promossi come ecologici, sostenibili e a impatto zero dovremmo fermarci a riflettere e con approccio critico porci, tra le tante, alcune domande: Ecologici, sostenibili e a impatto zero, da che punto di vista? Quali sono le risorse naturali e non rinnovabili impiegate? Nel calcolo delle emissioni dei gas climalteranti sono considerate solo quelle relative alla fase di esercizio o anche quelle dell'intero ciclo di vita? Sono considerati anche il carbonio e l'energia incarnati? A queste domande bisognerà dare risposte per individuare strategie, percorsi, misure e azioni da mettere in campo per una transizione, nella sua triplice e inscindibile dimensione digitale, ecologica ed energetica, capace di raggiungere sinergicamente i 17 Obiettivi di Sviluppo Sostenibile delle Nazioni Unite (UN, 2015b).

La questione climatica, che ha un carattere emergenziale, globale e strutturale, è il tema affrontato nel presente saggio con l'obiettivo di individuare buone pratiche replicabili, definite 'soft', che possano concorrere alla mitigazione dei consumi di energia e di risorse naturali promuovendo una maggiore sensibilizzazione degli utenti e un loro coinvolgimento emotivo nell'attuale crisi attraverso un'esperienza anche ludica. Nello specifico il contributo, a partire dai concetti di mitigazione, 'sufficienza', circolarità e 'innovability' intende illustrare alcune esperienze professionali del collettivo milanese Dotdotdot evidenziandone, da un lato la coerenza con le politiche internazionali e con alcuni approcci promossi dalla letteratura scientifica, dall'altro il sapiente uso delle tecnologie per un impegno etico nell'affrontare le sfide sui cambiamenti climatici.

Innovability e mitigazione con nuovi modelli comportamentali e sviluppo economico basato sulla 'sufficienza' e sull'economia circolare

Il recente Report Climate Change 2023 (IPCC, 2023) conferma che i cambiamenti climatici hanno un impatto trasversale su tutte le attività umane, dalla produzione agricola alla gestione delle risorse idriche, dalla salute pubblica alla conservazione della biodiversità, nonché su tutti i processi naturali e sugli ecosistemi. Lo stesso Report individua una serie di sinergie e compromessi tra le azioni di mitigazione e gli obiettivi di sviluppo sostenibile (UN, 2015b) rivelando che, sebbene le sinergie individuate siano in numero maggiore rispetto ai compromessi, entrambi dipendono dal contesto e dalla portata delle azioni messe in campo e che i potenziali compromessi possono essere compensati o evitati anche con politiche aggiuntive, trasferimento tecnologico, formazione e comunicazione.

Il Report Climate Change 2014 – Mitigation of Climate Change (IPCC, 2014, p. 39) ha fornito una chiara definizione della mitigazione: «In the con-

text of climate change, it is a human intervention to reduce the sources or enhance the sinks of greenhouse gases (GHGs). The impacts of mitigation consist in the reduction or elimination of some of the effects of climate change [that] may improve people's livelihood, their health, their access to food or clean water, the amenities of their lives, or the natural environment around them [...] can improve human well-being through both market and non-market effects».

Altri documenti di politiche internazionali, così come in Italia il Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (PNACC; MASE, 2023), individuano per la mitigazione dei cambiamenti climatici diverse strategie, percorsi, misure e azioni le ultime delle quali possono essere suddivise in due tipologie principali: le azioni di tipo A ('soft'), ovvero quelle che non richiedono interventi strutturali e materiali diretti ma che sono comunque propedeutiche alla realizzazione di questi ultimi, contribuendo alla mitigazione attraverso una maggiore conoscenza o lo sviluppo di un contesto organizzativo, istituzionale e legislativo favorevole, ma anche attraverso azioni di informazione e sensibilizzazione, sviluppo di processi organizzativi e partecipativi e governance; le azioni di tipo B ('non soft'), che hanno una componente di materialità e di intervento strutturale, comprendenti le 'green' (con soluzioni 'basate sulla natura' e utilizzo o gestione sostenibile di 'servizi' naturali, inclusi quelli ecosistemici, al fine di ridurre gli impatti dei cambiamenti climatici) e le 'grey' finalizzate al miglioramento e adeguamento di impianti e infrastrutture, che possono a loro volta essere suddivise in azioni su materiali e tecnologie o su infrastrutture o reti.

Di particolare interesse appaiono le azioni 'soft' che agiscono sulla domanda di energia anche attraverso cambiamenti socio-culturali e comportamentali che, in sinergia con nuove modalità di fornitura dei servizi finali, possono potenzialmente ridurre le emissioni globali di gas serra nei settori delle costruzioni, dei trasporti e dell'agricoltura del 40-70% entro il 2050 rispetto agli scenari di base, sebbene in alcune aree geografiche del Pianeta (e in particolare quelle dei Paesi in corso di sviluppo) la domanda di energia è presumibile che aumenterà (IPCC, 2023). Le azioni 'soft' sono di particolare interesse non solo perché tendono ad essere tutte robuste, flessibili e di immediata realizzazione (MASE, 2023), ma soprattutto perché richiedono un minor impegno finanziario e hanno un carattere di urgenza, dovendo precedere le azioni 'green' e 'grey' e introdurre elementi facilitatori per creare le condizioni ottimali di governo del territorio, per una efficace pianificazione e la successiva attuazione delle azioni 'non soft'.

Le teorie economiche direttamente collegate alle azioni 'soft' – di natura 'immateriale' – in tema di mitigazione sono diverse e fanno riferimento ad esempio all'Economia della Felicità (Kahneman, 2007), alla Sharing Economy (Botsman and Rogers, 2010), alla Crescita Qualitativa (Capra and Henderson, 2020) e alla Decrescita Serena (Latouche, 2015; Raworth, 2017) e all'Economia della Sufficienza (Sachs, 2023), riconducibili tutte ai concetti di sobrietà e del senso del limite. In particolare secondo Arrobbio Osman (2023), la 'sufficienza' è nello stesso tempo un concetto, un principio, una strategia e un obiettivo raggiungibile, come dimostrato in un suo recente volume,

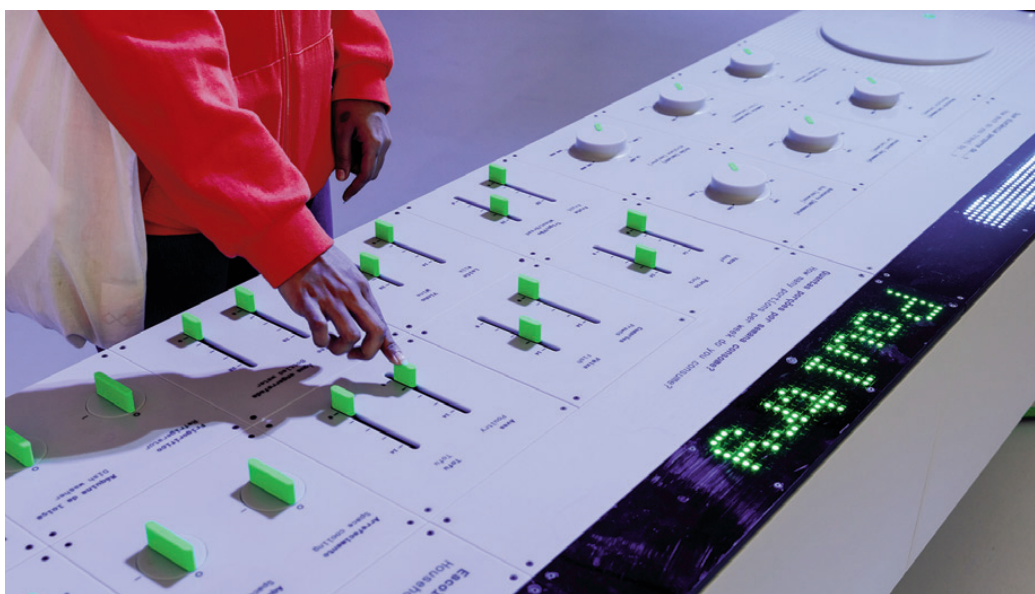
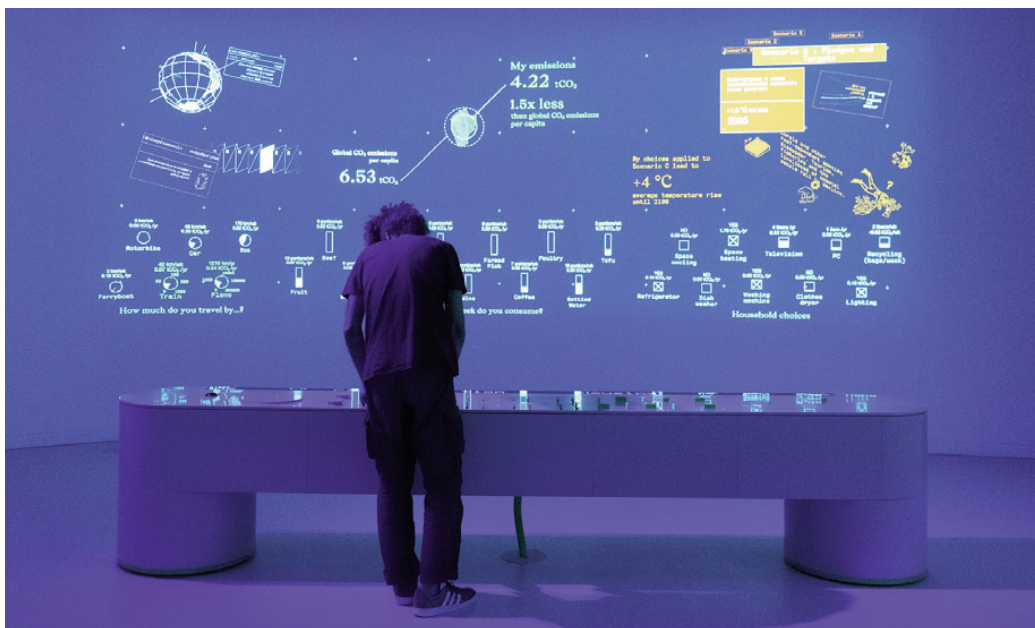


Fig. 1-3 | Earth Bits – Sensing the Planetary (2021) is a data-driven installation designed for MAAT in Lisbon and developed by research and interaction design studio Dotdotdot, that unveils the complexities of climate science and measures humanity's carbon footprint through graphic and digital content, animated videos and an interactive station. Developed with the scientific support of the European Space Agency (ESA), the International Energy Agency (IEA) and EDP Innovation, the project offers a vantage point from which to understand the climate crisis objectively.

facendo tesoro degli studi e delle esperienze sul tema (riduzione della domanda di energia, dematerializzazione e innovazione dei servizi) che si stanno moltiplicando con il coinvolgimento di un numero crescente di attori diversi e con effetti a scale diverse.

Il riconoscimento internazionale sul contributo che una politica improntata alla 'sufficienza' può fornire nella mitigazione dei cambiamenti climatici è da attribuire all'IPCC (2022) che la descrive come un insieme di misure e pratiche quotidiane che evitano la domanda di energia, materiali, terra e acqua, consentendo al contempo il benessere per tutti entro i confini planetari tracciati per la prima volta da Rockström et alii (2009); secondo il Report la sua attuazione è in grado di ridurre fino al 17% le emissioni di gas climalteranti senza la necessità di ricorrere a soluzioni tecnologiche spesso energivore.

Profondo sostenitore della necessità di attuare una politica basata sulla 'sufficienza', David Ness (2022, 2023) ha recentemente ribadito che per rispondere all'obiettivo di equità essa deve attuarsi su scala globale e riconoscere una distribuzione dei consumi differenziata a vantaggio dei Paesi in via di sviluppo secondo il principio del 'condividi e riduci' ('shrink and share') già promosso da Kitzes et alii (2008). Stesso principio è espresso dal Circular Buildings Toolkit di Arup ed Ellen MacArthur Foundation (n.d.) secondo il quale la migliore strategia per evitare il consumo intensivo di materiali si fonda sul 'non costruire nulla' e sul 'rifiutare la realizzazione di nuovi artefatti se non necessari'.

È opinione condivisa dalla comunità scientifica internazionale che il raggiungimento degli obiettivi di decarbonizzazione e neutralità climatica fissati dall'Unione Europea rispettivamente al 2030 e al 2050 (European Commission, 2021a, 2021b) possano essere raggiunti solo attraverso la concomitanza di strategie, percorsi, misure e azioni differenti. Uno dei possibili percorsi di sviluppo sostenibile è basato sull'Economia Circolare (Ellen MacArthur Foundation, 2010), declinata nelle varianti delle '8R' (Rivalutare, Riconcettualizzare, Ristrutturare, Ridistribuire, Rilocalizzare, Ridurre, Riutare, Riciclare) o ancora nelle sei aree di azione ReSOLVE (REgenerate, Share, Optimise, Loop, Virtualise e Exchange; Ellen MacArthur Foundation 2015a, 2015b).

Questo modello che ripensa una crescita economica del tutto indipendente dal consumo di risorse finite non rinnovabili ha origine lontane ed è riconducibile alle teorizzazioni di Walter R. Stahel (1976) che delinea i caratteri di un'economia in 'loop' con maggiori benefici sul lavoro, sullo sviluppo economico, sul risparmio di risorse e sul controllo dei rifiuti; successivamente il modello è stato ripreso da Froesch e Gallopoulos (1989), promotori di un 'ecosistema biologico' nel quale gli scarti dei processi industriali divengono materie prime per altri processi, e infine a McDonough e Braungart (1998, 2002, 2013), secondo i quali la progettazione dovrebbe basarsi su due cicli circolari, uno tecnico e uno biologico, nei quali le risorse vengono trattenute il più a lungo possibile con una perdita minima di qualità e scarti.

Tuttavia, sebbene efficienza delle risorse e crescita circolare siano state indicate dalla New Climate Economy (NCE, 2018) e dal World Resources Institute (WRI, 2020) alla base di un program-

ma di sviluppo fondato sul principio che la 'crescita' può essere 'disaccoppiata' dai suoi impatti negativi sull'ambiente, altri studi rilevano che non è possibile raggiungere gli ambiziosi obiettivi posti da Parigi senza una drastica riduzione del consumo delle risorse naturali non rinnovabili (Hickel, 2019; EEB, 2020). Ciò è confermato anche dal recente Rapporto della European Environment Agency (EEA, 2021) secondo il quale l'auspicato 'disaccoppiamento' non sta avvenendo e potrebbe anche non essere mai realizzato: a supporto di tale affermazione soccorrono i dati secondo i quali l'Europa è tra le prime regioni al mondo per consumi e 'pressione' sull'ambiente e l'economia circolare alimenta una strategia di crescita indirizzata al consumo di risorse: durante il 2019 soltanto il 12% del materiale è stato riciclato nell'Unione Europea e nel resto del mondo la circolarità è in calo (Circle Economy, 2021).

Una possibile soluzione è prospettata dall'European Environmental Bureau (EEB, 2021) che nel documento Sufficiency and Circularity – The Two Overlooked Decarbonisation Strategies in the 'Fit for 55' Package riporta un decalogo di azioni riconducibili alle politiche di 'sufficienza' e di 'efficienza' e alle 'rinnovabili'. Nell'ottica dell'auspicata decarbonizzazione nel 2030 è quindi possibile ipotizzare che un'azione sinergica di politiche di 'sufficienza' e approcci improntati alla 'circolarità' possa produrre benefici significativi e generare una maggiore efficacia in termini di mitigazione dei cambiamenti climatici: se le politiche sulla 'sufficienza' possono ridurre sensibilmente la domanda e il consumo di risorse nei Paesi industrializzati lasciando, secondo un principio di equità, a quelli in via di sviluppo la possibilità di raggiungere l'auspicato benessere, l'economia circolare è in grado di ottimizzare il valore delle risorse impiegate (ridotte già in quantità e volume dalle politiche sulla 'sufficienza') prolungandone il ciclo di vita attraverso ad esempio azioni di riuso, riciclo e up-cycling, il tutto in forza degli ormai imprescindibili requisiti di durabilità, smontabilità, riparabilità, manutenibilità, ecc.

In questo contesto entra in gioco il termine 'innovability', al quale si attribuisce una rinnovata forza propulsiva per un nuovo paradigma di sviluppo che esprime una delle sfide più cruciali del nostro tempo e la necessità di una 'solidale' convergenza tra le due istanze inderogabili della 'innovazione' e della 'sostenibilità', certi del fatto che esse siano inseparabili dal più generale impatto ambientale, sociale ed etico delle discipline del progetto. L'argomento è quanto mai attuale e lo testimonia la Mostra dal titolo Transform! Designing the Future of Energy, inaugurata il 23 marzo 2024 negli spazi del Vitra Design Museum a Weil am Rhein, dove si mette in scena l'energia interpretata come principale forza motrice della società, nonché come questione politica, invisibile ma onnipresente, ritenuta a torto nei secoli scorsi una risorsa inesauribile. Oggi sappiamo che non è così e che usarla in maniera sostenibile ed efficiente è cruciale per il futuro della Terra: il messaggio contenuto nell'esposizione curata da Jochen Eisenbrand è che il Design può e deve avere una parte importante nella transizione verso le energie rinnovabili, perché tutti gli edifici, le infrastrutture e i prodotti legati alla generazione, alla distribuzione e all'utilizzo dell'energia sono progettati dall'uomo.

Diventa imprescindibile dunque capire che ti-

po di trasformazione, in questi ambiti, può attuare il Design: dai prodotti di uso quotidiano che utilizzano fonti rinnovabili alla progettazione di case solari e centrali eoliche, dai sistemi di mobilità intelligente alle visioni futuristiche di città autosufficienti. Le domande da porsi sono diverse: quali sono i criteri per progettare in maniera innovativa e sostenibile? Come può il Design incentivare il processo di decarbonizzazione? Come possono l'industria, le politiche governative e ciascuno di noi gettare le basi per un futuro che non minacci la salute del Pianeta (Kries and Eisenbrand, 2024)?

A questi interrogativi la disciplina del Design è chiamata a rispondere coerentemente con quanti pensano che possa effettivamente catalizzare cambiamenti radicali su più livelli e a diversi ordini di grandezza. Secondo Alice Rawsthorn e Paola Antonelli (2022) bisogna confidare nella visionarietà dei designer e degli architetti, che con le loro invenzioni e le loro opere di ingegno ci infondono speranze per il futuro; a ben guardare lo hanno sempre fatto, attraverso progetti apripista che hanno spostato in avanti i confini disciplinari. Per le due curatrici, autrici del volume Design Emergency, è importante che il Design, ricorrendo all'intelligenza collettiva, rivesta questo ruolo in tutte le epoche, soprattutto oggi alla luce delle tante emergenze che sono sotto gli occhi di tutti, tra cui spiccano, saldamente intrecciate tra loro, la crisi climatica e quella energetica.

Non molto distante è la visione di Timothy Morton (2010, p. 211) secondo il quale «L'ideologia dell'emergenza afferma che non abbiamo bisogno di assumerci responsabilità per le buone decisioni, dal momento che esse accadranno in modo 'naturale'. Ma per contrastare l'inquinamento, lo stravolgimento climatico e le radiazioni, dobbiamo pensare e agire in grande, il che significa pensare e agire collettivamente. Questo richiede input coscienti. Dovremo scegliere di agire e pensare insieme». Altrettanto importante è mappare, documentare e divulgare l'attività di quelle menti creative la cui abilità nel proporre soluzioni innovative rappresenta la conferma di quanto il Design possa essere uno strumento indispensabile per affrontare le principali sfide del nostro tempo e trarre vantaggio dai progressi della scienza e della tecnologia.

Dotdotdot: un approccio olistico alle transizioni | In questo scenario, alla ricerca di esempi significativi dichiaratamente in prima linea per promuovere cambiamenti positivi, si inserisce come caso di studio il lavoro compiuto negli ultimi 20 anni da Dotdotdot, collettivo multidisciplinare milanese il cui statement è 'We design innovative human experiences'. Fondato da Laura Dellamotta (architetto), Giovanna Gardi (architetto), Alessandro Masserdotti (interaction designer) e Fabrizio Pignoloni (designer), lo Studio conta oggi un Team di oltre 30 persone con profili eterogenei tra cui sviluppatori, ingegneri, sound designer, esperti di storytelling e di design strategico. Per definire il loro impegno nel mondo del progetto ricordiamo le parole di Alice Rawsthorn (2018), tratte dal volume Design is an Attitude, in cui parla di una nuova generazione di designer che utilizza gli strumenti digitali per perseguire i propri obiettivi sociali, politici ed ecologici, operando in modo indipendente e ridefinendo la disciplina con istinto e ingegno.

Interessato all'integrazione tra architettura, design, installazioni, tecnologie digitali e nuovi media e al modo in cui viviamo il presente e progettiamo il nostro avvenire, Dotdotdot utilizza dal 2004 l'innovazione intesa nel suo senso più ampio per creare modalità nuove e uniche di interazione tra gli esseri umani e il mondo. Il suo percorso, unico nel panorama italiano in quanto pioniere dell'interaction design, si sviluppa in maniera dinamica sperimentando progetti all'avanguardia che rappresentano altrettante forme di documentazione, informazione, azione e comunicazione coinvolgendo comunità e persone.

Nel corso degli anni lo Studio ha consolidato competenza ed esperienza nello sviluppo di strategie digitali e nella progettazione di sistemi digitali integrati e personalizzati per aziende, musei, archivi storici, ambienti lavorativi, strutture sanitarie e, più in generale, finalizzati allo smart living. Nel 2014 ha fondato OpenDot, un Fab Lab che è, anche e soprattutto, un hub di ricerca nato dall'esigenza di dare vita a uno spazio, aperto e condiviso, dedicato alla prototipazione rapida e alla sperimentazione tecnologica, punto di incontro tra nuove competenze e saperi tradizionali.

Secondo Dotdotdot per parlare di transizione energetica, e farlo in maniera consapevole, bisogna superare un concetto finora dominante, quello dello Human-centred Design, spostando l'attenzione sulla totalità dell'ambiente che ci circonda, cambiando il modo di agire a partire da una progettazione partecipata che si concentri sui bisogni delle persone all'interno di un contesto con cui è urgente confrontarsi al fine di comprenderne la complessità e valorizzarne la multidimensionalità. Questa riflessione, alla base della politica e della filosofia dello Studio, condivisa con committenti e stakeholder coinvolti a monte dei singoli processi creativi, è il punto di partenza per comprendere, attraverso un mix equilibrato di teoria e pratica (una pratica in continuo divenire basata sull'apprendimento permanente), come innovare profondamente la vita delle persone, i servizi e tutto quello che sta intorno all'uomo, nel rispetto dell'equilibrio generale dell'ecosistema.

L'appello, esplicitato attraverso i progetti firmati dal collettivo milanese, che altro non sono che continui accadimenti caratterizzati da un forte legame con lo spazio in cui avvengono, è chiaro. Nulla all'interno del contesto di progetto può oggi essere trascurato: è necessario avere uno sguardo attento verso ogni ambito della progettazione al fine di trovare un equilibrio tra tecnologia e politiche, individui e ambiente, assicurandosi che l'innovazione risponda alle esigenze reali, includa più scenari, promuova forme di ricerca allargata ad altri campi e, infine, tenga conto dell'importanza di processi innescabili all'interno di un'economia circolare e dell'ecosistema.

L'approccio al progetto è quindi di impronta olistica: non un atteggiamento puramente 'problem solving' rispetto a una specifica richiesta della committenza, quanto piuttosto uno sguardo ampio e cosciente alle diverse scale di una realtà scandagliata attraverso competenze eterogenee capaci di strutturare il progetto in tutte le sue sfaccettature, interpretandone e traducendone i diversi linguaggi. Centrale nell'approccio è la parola 'innovazione', che per Alessandro Masserdotti ha gradi differenti: quando si tratta della cosiddetta innovazione di frontiera, difficilmente questa, soprat-

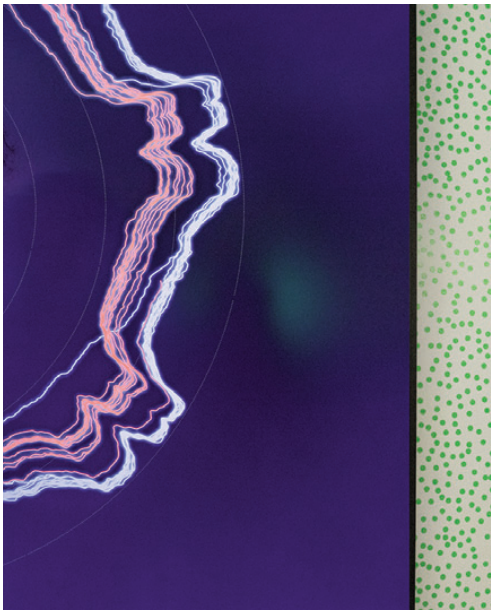


Fig. 4, 5 | The installation *Earth Bits – Sensing the Planetary* (2021) emphasises the need to act now, implying that taking care of our Planet is a pressing issue. The narrative unfolds in four multimedia sections: *Power Rings*; *24 Hours – The Ecology and Energy of our Flux*; *The CO₂ Mixer*; and *Planet Calls – Imagining Climate Change*.

tutto all'inizio, si rivela perfettamente compatibile con l'ambiente. Ne è un esempio il Large Hadron Collider (LHC) del CERN (Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire), l'acceleratore di particelle più grande al mondo che si trova in un tunnel sotterraneo a 100 metri di profondità nella zona di confine fra Francia e Svizzera vicino a Ginevra (Mandraccio, 2020): quando è attivo consuma 200 megawatt ora di corrente, ovvero il fabbisogno energetico di una città di 300.000 abitanti: difficile dire che sia sostenibile. Detto questo, più che limitarsi a considerare l'impatto attuale di una struttura del genere, sarebbe importante capirne la ragione d'essere, inserendola in una visione a lungo termine.

Per Dotdotdot si tratta di un aspetto cruciale: soprattutto quando ci si occupa di innovazione tecnologica e digitale capita spesso di impattare dal punto di vista energetico nelle prime fasi di una nuova sperimentazione: esempio nel settore della salute è il lavoro di manifattura digitale compiuto dallo Studio con le stampanti 3D per i tutori posturali: esempio nel settore della salute è il lavoro di ricerca e manifattura digitale compiuto dallo studio (con OpenDot) con le stampanti 3D per i tutori posturali per i bambini del Centro TOG di Milano che si occupa della cura di bambini con neuropatologie complesse. Prima di arrivare a uno strumento sostenibile e utile, coinvolgendo medici, terapisti, infermieri, maker, designer, caregiver e pazienti, è stata lavorata una notevole quantità di materiale diventata rifiuto. Il risultato finale, però, è stata una soluzione più confortevole, lavabile, replicabile: per la realizzazione dei tutori si è sostituito il tradizionale gesso (pesante, esteticamente poco gradevole e non lavabile) con il PLA, una bioplastica di origine naturale (compostabile al 100%) che garantisce ottimi requisiti d'uso. È una faccenda di pesi: bisogna, insomma, trovare l'equilibrio tra costi e benefici, intervenendo sui diversi gradi di innovazione. .

Cosa significa? Che se all'inizio di ogni processo sperimentale l'impatto energetico a livello progettuale può essere rilevante e non trascurabile, nella fase successiva, quella riferibile al trasferimento tecnologico, può e deve ridursi note-

volmente. Tornando al CERN di Ginevra, è ipotizzabile che la ricerca, per quanto adesso l'impianto sia dispendioso in termini energetici, porti nel futuro a sviluppare maggiore controllo e consapevolezza sull'utilizzo degli atomi: prima o poi si realizzerà il famoso calcolatore quantistico che, tendenzialmente, avrà una capacità di calcolo molte volte superiore, a parità di consumo, a quella di un computer tradizionale.

Il confronto definisce i confini, o se vogliamo i limiti, del termine 'innovability', soprattutto quando i livelli di sperimentazione e di avanguardia sono molto alti, il che non significa abbandonare un approccio planet-centred, ma essere coscienti del fatto che l'equazione innovazione uguale sostenibilità sia spesso, in un primo momento, inattuabile e che sia fondamentale assicurarsi, visualizzando l'intero ciclo di vita, che l'iniziale maggior richiesta di energia porti a una sensibile riduzione di consumi nel medio e lungo periodo.

Non è tutto. C'è un ulteriore aspetto che va preso in esame quando si coniugano innovazione e sostenibilità: la prima ha a che fare con il nuovo che avanza, che spesso è dirompente; la seconda con la redazione di norme, che si tramutano in leggi e prescrizioni. Nella visione di Dotdotdot l'innovazione non è mai a norma poiché non deriva (e non può derivare) da una prassi consolidata e normalizzata, semmai è l'opposto: interviene per promuovere un cambiamento di quelle norme e prescrizioni che con il tempo diventano inattuali, per creare nuovi standard più aderenti alle istanze del progresso: il progetto, in questa situazione, diventa il trait d'union tra i diversi fattori in gioco, aggiornando e trasformando i processi mediante azioni che sono delle vere e proprie dichiarazioni d'intenti.

È l'eterna dialettica tra dinamismo e stasi: l'innovazione spesso contravviene le regole ma con la consapevolezza di compiere un gesto politico che va nella giusta direzione. Nel caso di specie l'attenzione per il Pianeta, in una prospettiva allocentrica, è rivolta ad ambiti diversi e in continua evoluzione (tecnologia, società, comunicazione, ambiente, ecc.), tutti interessati alle transizioni eco-

logica, digitale ed energetica che sono inevitabilmente collegate. «[...] In questo secondo decennio del nuovo secolo, sta diventando sempre più evidente che i problemi cruciali del nostro tempo – energia, ambiente, cambiamento climatico, sicurezza alimentare, sicurezza finanziaria – non possono essere studiati e capiti in modo separato, in quanto sono problemi sistemici, e ciò significa che sono interconnessi e interdipendenti» (Capra and Henderson, 2020, p. 17).

All'interno di questa visione allargata, nella quale l'innovazione è una priorità intellettuale e la sostenibilità è una necessità politica, etica e sociale, si muove la ricerca di Dotdotdot, supportata da strumenti materiali e immateriali, interscalari e interdisciplinari, finalizzata al perseguimento di un progresso condiviso nel quale la tecnologia non è mai il fine ultimo, ma piuttosto uno strumento versatile e sfaccettato che apre scenari sorprendenti, e dove i dati rappresentano una forma di conoscenza che ha un enorme valore.

Tornando alla questione della transizione energetica non è casuale il fatto che, negli ultimi anni, lo Studio si sia spesso confrontato professionalmente con il tema dell'energia, interpretato e raccontato da diversi punti di vista ragionando su quanto la trasformazione antropica del Pianeta rappresenti un'azione energivora di cui avere contezza. E non è un caso che si siano presentate opportunità progettuali poiché Alessandro Masserdotti ritiene che le commesse ricevute da aziende come Enel, Eni ed Edison siano dovute al riconoscimento della filosofia etica e politica di Dotdotdot sui temi della sostenibilità e dell'innovazione, quest'ultima centrale in tutti i progetti dello Studio e apprezzata da aziende che hanno come obiettivo un'innovazione di secondo livello, e non di frontiera, imprescindibile dalle istanze della 'innovability'.

Dotdotdot: storytelling e consapevolezza per la transizione energetica | *Earth Bits – Sensing the Planetary* al Museum of Art, Architecture and Technology di Lisbona (2021), la Mostra immersiva di Enel Green Power di Trezzo sull'Adda (2019)

e l'ENI Circular Future Kit, ideato come OpenDot (2019) ben esemplificano i concetti di 'innovability' e di 'transizione' in quanto interazioni veicolate dalla tecnologia nelle quali il Design comunica idee, stimola l'immaginazione e ridisegna i comportamenti. I tre progetti sono esperienze da vivere in una dimensione temporanea, nonché esempi di come il Design possa sviluppare nuove narrative, visualizzare il futuro delle energie alternative, ipotizzare approcci multipli al problema con diverse scale di ragionamento: secondo Dotdotdot sono forme di dialogo tra due mondi, quello tecnico-scientifico e quello progettuale-divulgativo.

Earth Bits – Sensing the Planetary, l'installazione immersiva per il MAAT (Figg. 1-5) fortemente voluta dall'allora Executive Director Beatrice Leanza², ha come focus il cambiamento climatico, affrontato da un punto di vista narrativo attraverso quattro installazioni multimediali, con strumenti comunicativi adeguati e la giusta sensibilità per coinvolgere il visitatore in un percorso capace di stimolare il pensiero critico e produrre conoscenza attraverso il confronto tra scienza, cultura e società. Il racconto è incentrato sulla tecnologia emotiva, con un atteggiamento quasi agnostico per raggiungere il maggior pubblico possibile grazie a una visione oggettiva del problema. La tecnologia, lungi dall'essere uno strumento di dominio, diventa un'estensione della capacità umana per comprendere e conservare il nostro Pianeta: il fine non è assumere una posizione morale, ma far parlare i dati, raccontando i fatti e aumentando la consapevolezza delle persone attraverso l'evidenza e la quantità delle informazioni trasmesse, tradotte e fornite ai visitatori in modo accessibile attraverso la multimedialità.

Secondo Laura Dellamotta rendere i dati comprensibili a un elevato numero di persone consente di generare input con ricadute a livello sociale. Per Dotdotdot i dati hanno un valore culturale, consapevoli che viviamo in un'epoca nella quale essi vengono prodotti incessantemente, rappresentando da una parte il nuovo petrolio³ (Arthur, 2013), dall'altra una nuova forma di conoscenza: «[...] si può dire che fu Keplero il primo ricercatore a fare una scoperta scientifica data-driven a partire da dati raccolti dall'astronomo Tycho Brahe sulla posizione dei pianeti. Ma se al tempo di Keplero il problema era dare un senso ai dati, ancora umanamente gestibili, oggi essendo troppi e troppo complessi, i dati tornano ad essere oscuri e distanti se non vengono rielaborati e 'digeriti' prima di essere messi a disposizione delle persone» (Dotdotdot, 2021).

Earth Bits – Sensing the Planetary va oltre la semplice messa in scena di un messaggio. Partendo dai dati il collettivo milanese ha strutturato uno storytelling per trasferirli all'interno di un viaggio nel quale diventano materia emozionale e didattica. Il percorso si sviluppa in un crescendo che parte dalla presa di coscienza della crisi ambientale, attraverso l'impatto delle nostre scelte sul Pianeta come cittadini e come consumatori e si conclude con un salto di prospettiva su un piano cosmologico che offre una visione globale contemplativa dell'impovertimento della Terra per mano dell'uomo.

Con l'espedito dell'allontanamento del punto di vista la Mostra visualizza in successione il significato delle piccole azioni di tutti i giorni – sol-

levando domande ad esempio su quanto impatta a livello energetico mandare un'email, entrare in una call su Zoom o navigare sui social) per poi considerare, prescindere dai comportamenti dei singoli, l'incidenza del contesto in cui si vive, del Paese in cui si abita che magari ha più linee di metropolitana, aeroporti, treni ad alta velocità, illuminazione a giorno durante la notte. L'ultima metafora utilizzata è il racconto dei primi astronauti che guardano la Terra dallo Spazio come un unico grande mondo: un modo per dire che bisogna trovare una soluzione a livello globale.

Fondamentale, per la riuscita del progetto, è stato il coinvolgimento di Enti che hanno fornito i dati: l'Agenzia Spaziale Europea (ESA), attraverso le informazioni raccolte dal programma Copernicus, il più grosso dataset open source al mondo che monitora la Terra e il suo ambiente a beneficio di tutti i cittadini europei; l'International Energy Agency (IEA), che gestisce un sistema di informazione e di studio delle dinamiche energetiche a livello internazionale, coinvolto per la quantificazione del carbon footprint; EDP (Energias De Portugal), leader mondiale nel settore dell'energia e della transizione energetica che ha messo a disposizione i dati relativi al monitoraggio del consumo di corrente elettrica locale.

Vale la pena soffermarsi sulla rilevanza del progetto Copernicus, i cui dati e immagini, che sono un valido strumento per ricercatori e studiosi impegnati nella salvaguardia ambientale (Magliocco and Canepa, 2022), hanno popolato il grande wallpaper digitale in mostra sottolineando la complessità della relazione tra innovazione e sostenibilità, affidata in questo caso a sei satelliti (sentinel) dall'elevato costo, probabilmente anche in termini di impatto energetico, che hanno il compito di controllare costantemente lo stato di salute del Pianeta.

Come nel citato caso del CERN sembra che Copernicus presenti un'apparente contraddizione: consumare grandi quantità di energia per monitorare la Terra attraverso una raccolta massiccia e diffusa di open data, dei quali non si può più fare a meno in quanto forniscono informazioni accurate e tempestive (12 terabyte di dati al giorno) utili a tutelarla. La metafora, però, ben rappresenta la tensione insita nel termine 'innovability' e apre a una riflessione interessante: rispetto al passato il XXI secolo ha visto significativi miglioramenti nell'efficienza energetica, nonché una maggiore disponibilità e accessibilità a tecnologie a basso consumo di energia e rinnovabili.

Tuttavia questi progressi sono controbilanciati da una domanda globale di energia il cui costante aumento è dovuto soprattutto alla proliferazione di dispositivi elettronici e digitali: da una parte è dunque impossibile non riconoscere i miglioramenti apportati da un uso più intelligente dell'energia, dall'altra bisogna ammettere che molte delle innovazioni sono il frutto di processi produttivi dipendenti da fonti energetiche del XIX secolo e da pratiche estrattive dannose (Rossi, 2024).

Il ricorso a una nuova sensibilità verso simili tematiche si ritrova nella Mostra di Dotdotdot per Enel Green Power (Figg. 6-12), sviluppata all'interno di una centrale idroelettrica storica: l'impianto Taccani di Trezzo sull'Adda è divenuto la 'casa' di cinque avatar ipertecnologici utilizzati per raccontare, in maniera ludica ma scientifica, le energie pulite, core business del gruppo Enel dedicato al settore delle rinnovabili.

Per il progetto, primo step dell'operazione Centrali Interattive, i Dotdotdot hanno ideato, lungo un percorso pensato per tappe come fosse un gioco, modulare e replicabile, una serie di 'personaggi', vicini al mondo del fumetto, utili a dare presenza e anima a una grandezza intangibile e astratta come quella dell'energia, puntando sul coinvolgimento dei visitatori, con lo sguardo rivolto ai più giovani, studenti delle Scuole medie e superiori. I cinque personaggi sono la personificazione delle fonti di energia pulite e rinnovabili (idroelettrica, geotermica, eolica, marina e solare) affidata alle sembianze e alle voci di Idro, Gaia, Levante, Marina e Mariasole, protagonisti di un allestimento che mette il visitatore al centro di un'esperienza memorabile nella quale la centrale diviene un luogo di formazione e intrattenimento.

La Mostra permanente è allestita nel capoluogo industriale di Gaetano Moretti, dove passato, presente e futuro si intrecciano nella narrazione: alternatori e turbine convivono con infografiche, light box, pannelli lenticolari, monitor e proiezioni che informano e divertono. Ancora una volta, al centro del progetto, c'è uno storytelling che, raccontando come le energie che consumiamo vengono di fatto create, conduce a un gioco finale.

L'obiettivo è fornire consapevolezza sui processi di produzione, ma anche sulle modalità di impiego e/o spreco, offrendo informazioni complesse restituite in maniera comprensibile, aiutando a capire, ad esempio, che l'energia è già dentro di noi: allo scopo il Kinect rileva il movimento delle persone e traduce il moto dei visitatori in un feedback visivo che quantifica l'energia prodotta. Non mancano gli aspetti storici, visualizzati attraverso la timeline delle scoperte tecnologiche, riviste in chiave interattiva, e un video animato a 360 gradi che spiega il funzionamento di tutte le fonti di energia.

A guidare i visitatori, che entrano in relazione diretta con gli alter ego digitali grazie a un apposito sistema di riconoscimento vocale che li attiva, è l'empatia. L'intelligenza artificiale che sta dietro agli avatar può rispondere in maniera più o meno semplificata a seconda che i visitatori siano scolaresche oppure adulti, utilizzando voci di attori e non quelle digitali e spersonalizzate dei più diffusi assistenti vocali.

Il terzo progetto selezionato, ENI Circular Future Kit (Figg.13-15), è stato ideato per spiegare l'economia circolare alle nuove generazioni: quattro tavole interattive, divise in altrettante tematiche, raccontano a ragazzi delle Scuole secondarie le innovazioni circolari di ENI attraverso il gioco. Per i Dotdotdot, che di recente hanno collaborato anche con l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare firmando, a Trento, l'allestimento della Mostra Quanto – La Rivoluzione in un Salto, questa più che un'attitudine è una sfida, rilanciata ogni volta con idee che si aggiornano ed evolvono in tempo reale per rendere accessibile la complessità, a qualunque età.

Se nel progetto a Trezzo sull'Adda la Scuola andava da Enel, qui Eni si reca direttamente nelle classi per raccontare, attraverso un kit trasportabile su ruote realizzato con la manifattura digitale, cosa siano le energie rinnovabili per l'azienda. Il concept, frutto come sempre di un lavoro interdisciplinare, nasce da un'esigenza precisa: avere una visione chiara della realtà che ci circonda e del futuro che ci attende. Per farlo bisogna porsi

degli interrogativi, che sono quelli che Dotdotdot immagina, risultato di un lavoro di traduzione, sintesi e comunicazione delle informazioni. Sono quattro quesiti che hanno più livelli di profondità e descrivono scenari concreti facili da visualizzare: Perché servono delle batterie se l'energia la fa il vento? Perché ci sono differenti pannelli solari se il sole è uno solo? Perché piantiamo delle piante se i terreni sono inquinati? Perché non dobbiamo sprecare neanche una buccia di banana?

A domande complesse non esistono risposte semplici, esistono però modi per raccontare la complessità affinché sia più comprensibile: ad esempio creare quattro board interattive che attraverso spiegazioni chiare su produzione, conservazione, riparazione e trasformazione raccontino la necessità di andare verso un futuro circolare grazie all'innovazione tecnologica e alla co-progettazione. Il funzionamento è estremamente intuitivo ed è facilitato da una tecnologia sapientemente nascosta e integrata; le risposte si attivano con la funzione 'test', la cui esattezza viene

valutata sul monitor con feedback precisi e puntuali che aiutano l'apprendimento e palesano perché sia urgente l'eliminazione dei combustibili fossili per ridurre le emissioni globali di carbonio e fermare il cambiamento climatico. Solo così, con il progressivo passaggio alle fonti di energia rinnovabili, con ricadute sulla vita di tutti i giorni, si avranno effetti benefici sul nostro futuro.

Conclusioni | Il raggiungimento degli obiettivi di decarbonizzazione non può prescindere dal considerare gli interessi e le prospettive di una società e dei diversi stakeholders: secondo l'IPCC (2018), azioni eccessivamente 'aggressive' e 'imposte dall'alto' potrebbero generare tensioni sociali ed essere intese come una limitazione dell'ambizione al benessere dell'individuo e non riuscire a produrre il risultato sperato. È quindi importante la condivisione di un percorso verso la decarbonizzazione e che il concetto di 'transizione giusta' sia continuamente e concretamente declinato in misure che distribuiscano in modo equo vantaggi e costi,

senza lasciare indietro coloro che dalla transizione potranno essere penalizzati. Per arrivare alla neutralità climatica sono necessarie scelte politiche a elevato impatto sociale ed economico, ma anche tecnologie ancora non pronte e da mettere a punto con la cooperazione internazionale.

Occorre tener presente che i percorsi di mitigazione, e in particolare la loro diffusione e capacità di incidere sul tema dei cambiamenti climatici, sono condizionati dal livello di coinvolgimento reciproco di politica, cittadini, imprese e altri stakeholders, ma anche da specifiche condizioni locali (finanziarie, sistemi naturali, fattori socio-culturali, ecc.); tuttavia combinando la mitigazione con azioni 'soft' volte a modificare gli attuali comportamenti di stile di vita è possibile superare le barriere e aprire una gamma più ampia di opzioni di mitigazione.

Per stimolare una risposta 'comportamentale' è necessario che gli utenti siano consapevoli in prima istanza della portata della sfida climatica, dei rischi dovuti ai consumi eccessivi di energia e di risorse naturali non rinnovabili e successivamente

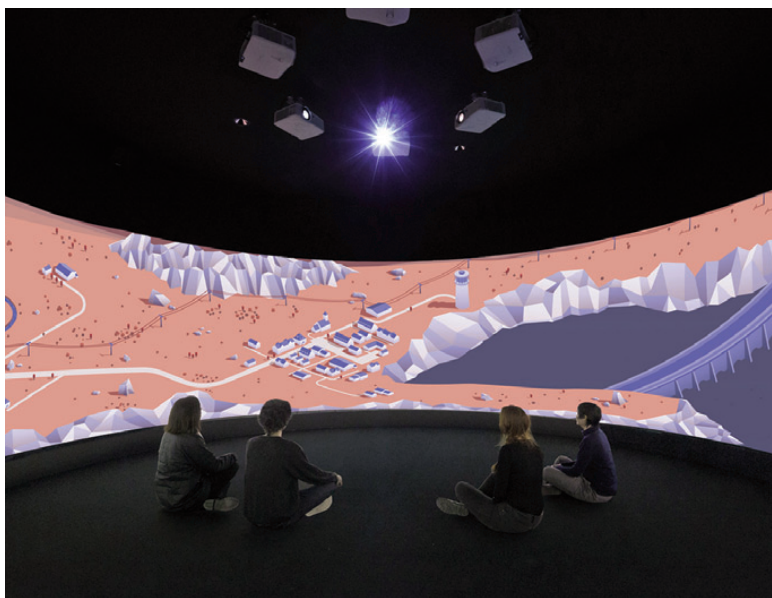


Fig. 6-9 | Enel Interactive Stations (2019) is an immersive exhibition created in the spaces of the Taccani hydroelectric plant in Trezzo sull'Adda. The tour is characterised by gamification and leads to the heart of renewable energy. The 360-degree immersive environment tells the story of the five protagonists in their animated environments, while a generative Sound Design changes in real-time according to visitors' presence.

delle opzioni di mitigazione disponibili; al contempo i cambiamenti di comportamento e stile di vita devono essere supportati da politiche, infrastrutture e tecnologie utili tanto alla riduzione delle emissioni globali di gas serra, quanto a mettere in scena narrazioni digitali, multimediali e interattive che riescano a trasformare l'allestimento in un'esperienza (Di Salvo and Arcoraci, 2020; Dal Falco and Bonomi, 2021; Arquilla and Paracolli, 2023)

Una 'alfabetizzazione climatica' attraverso programmi educativi e informativi, che utilizzano arti e scienza con un approccio partecipativo, se non ludico, può aumentare la consapevolezza e la percezione del rischio, modificando i comportamenti degli utenti nella consapevolezza che anche il singolo può dare il proprio contributo: il modo in cui questi programmi vengono presentati e attuati può rappresentare tanto il suo limite quanto il punto di forza che garantisce il successo dell'azione.

In quest'ottica devono essere ritenute rilevanti le attività sperimentali di Dotdotdot che grazie a una sapiente narrazione riescono a coinvolgere gli utenti attivando consapevolezza sulla emergenza climatica, e sui temi dell'energia e dell'economia circolare che rientrano tra i 17 Obiettivi di Sviluppo Sostenibile dell'Agenda 2030. Dotdotdot lo fa mediante il Design, con una particolare attenzione alla formazione e all'educazione, nella convinzione che questa disciplina, che negli ultimi anni ha adottato significati diversi in contesti diversi, abbia tra i suoi compiti quello di essere un possibile agente di cambiamento capace di rispondere alle trasformazioni sempre più veloci delle società, della politica, dell'economia, della scienza, della tecnologia, della cultura e dell'ecologia; trasformazioni che, oltre a dover essere affrontate, vanno spiegate, capite e metabolizzate, creando ponti tra le varie forme del sapere e gli utenti finali.

Comprendere il modo in cui la scienza e la tecnologia possono aiutarci può essere determinante per far sì che le nuove soluzioni vengano accettate oppure rifiutate dalla società: la cultura del 'progetto', può fare molto in questo senso, con azioni 'soft' (Fagnoni and Olivastro, 2019), replicabili, diversificate e inclusive, abbracciando persone provenienti da campi eterogenei che sono desiderose di impegnarsi nelle sfide della contemporaneità.

Vaclav Smil (2023), professor emeritus at the University of Manitoba in Winnipeg (Canada), is one of the leading experts on the themes of climate change, anthropisation, and energy: in his recent work entitled *Size – How to Explain the World*, he retraces the history of technological innovation through the major themes of food production, the material world, globalisation, and the environment, highlighting how often their current narrative too lightly identifies solutions to problems on energy issues; Luca Galofaro (2024) skilfully highlights how Smil's text succeeds in explaining some of the fundamental facts that govern our chances of survival, to understand what opportunities there are to drastically, and quickly, alter future production dynamics put in place to slow climate change. The author offers no solution but gives us the tools to design the world to come.

The publication is highly relevant because of the potential offered by new design methodologies, which consciously focus on the energy consumption that every human action inevitably determines and the consequent side effects on the Planet; at the same time, Vaclav Smil highlights the need to initiate, with respect to the sources of supply, processes of efficiency and adaptation to desirable criteria of sustainability to redesign a new man-energy paradigm, while remaining fully aware that historically there has always existed a direct proportionality between technological innovation and mankind's ability to accumulate and use energy. From a fundamental biophysical perspective, both prehistoric human evolution and the course of history can be seen as the quest for controlling greater stores and flows of more concentrated and more versatile forms of energy and converting them, in more affordable ways at lower costs and with higher efficiencies, into heat, light, and motion (Smil, 2021).

Today, as the era of fossil fuel civilisation comes to an end, energy transformation and preservation is one of the greatest challenges for the Earth's survival, increasingly threatened by climate change, determined, according to 97% of scientists, by anthropogenic activity¹, with nearly 40% of the world's greenhouse gas emissions resulting from building construction and operation (IEA, 2023). Addressing such a crisis requires actions, products and services that can, on the one hand, continue to meet the needs of humanity and, on the other hand, mitigate the greenhouse effect. The constraint of meeting climate goals becomes a great opportunity for generating new business, a driver of substantial change in existing activities, and an accelerator of innovation processes. Sustainability takes on the role of a decisive interpretative platform to give direction to innovation paths (Pardo, 2023).

The achievement of the goals identified in the Paris Agreement (UN, 2015a) and reaffirmed in subsequent European policies aimed at 'carbon neutrality' by 2030 (European Commission, 2021a) and 'climate neutrality' by 2050 (European Commission, 2021b) impose a paradigm shift that must be holistic and involve all the inhabitants of the planet, equating both the well-being of the individual and that of the entire ecosystem. International policies have been predominantly oriented toward greater energy efficiency of the entire production process and construction in the operation phase; however, this creates the potential paradox of incentivising an unlimited growth model that is incompatible with our Planet's finite resources and planetary limits, some of which have already been exceeded (Richardson et alii, 2023).

As we witness the building of new cities, neighbourhoods, or buildings promoted as environmentally friendly, sustainable, and zero-impact, we should stop and reflect. With a critical approach, we should ask ourselves the following questions, among many others: Environmentally friendly, sustainable and zero-impact, from what point of view? Which natural and non-renewable resources are being used? When calculating emissions of climate-changing gases, are we considering only those related to the operating phase or those of the entire life cycle? Are embodied carbon and energy also considered? These questions will need to be answered to identify strategies, paths, measures, and ac-

tions to be put in place for a transition, in its triple and inseparable digital, ecological and energy dimensions, capable of synergistically achieving the 17 Sustainable Development Goals of the United Nations (UN, 2015b).

This paper addresses the climate issue, which is emergent, global and structural, intending to identify replicable good practices, referred to as 'soft' practices, that can contribute to the mitigation of energy and natural resource consumption by promoting greater user awareness and emotional involvement in the current crisis through an experience that is also playful. Specifically, the contribution, starting from the concepts of mitigation, 'sufficiency', circularity, and 'innovability', illustrates the professional experiences of the Milan-based Dotdotdot collective by highlighting, on the one hand, their coherence with international policies and with approaches promoted in the scientific literature, and on the other hand, their skilful use of technologies for an ethical engagement in addressing climate change challenges.

Innovability and mitigation through new behavioural patterns and economic development based on 'sufficiency' and the circular economy

The recent Climate Change 2023 Report (IPCC, 2023) confirms that climate change has a cross-cutting impact on all human activities, from agricultural production to water management, from public health to biodiversity conservation, as well as on all-natural processes and ecosystems. The same Report identifies several synergies and trade-offs between mitigation actions and sustainable development goals (UN, 2015b), revealing that although the synergies identified outnumber the trade-offs, both depend on the context and scope of the actions put in place, and the potential trade-offs can also be offset or avoided with additional policies, technology transfer, training and communication.

The Climate Change 2014 Report – Mitigation of Climate Change (IPCC, 2014, p. 39) provided a clear definition of mitigation: «In the context of climate change, it is a human intervention to reduce the sources or enhance the sinks of greenhouse gases (GHGs). The impacts of mitigation consist in the reduction or elimination of some of the effects of climate change [that] may improve people's livelihood, their health, their access to food or clean water, the amenities of their lives, or the natural environment around them [...] can improve human well-being through both market and non-market effects».

Other international policy documents, including the Italian National Climate Change Adaptation Plan (PNACC; MASE, 2023), identify several strategies, pathways, measures and actions for climate change mitigation, the last of which can be divided into two main types: type A ('soft') actions, i.e., those that do not require direct structural and material interventions but are nonetheless preparatory to their implementation, contributing to mitigation through increased knowledge or the development of a favourable organizational, institutional and legislative environment, but also through information and awareness-raising actions, development of organizational and participatory processes and governance; type B ('non-soft') actions, which have a component of materiality and structural intervention, comprising

'green' actions (with 'nature-based' solutions and sustainable use or management of natural 'services', including ecosystem services, in order to reduce the impacts of climate change) and 'grey' actions aimed at improving and adapting facilities and infrastructure, which can in turn be divided into actions on materials and technologies or on infrastructure or networks.

'Soft' actions, acting on energy demand through socio-cultural and behavioural changes, are par-

ticularly interesting. In synergy with new ways of providing end services, they could potentially reduce global greenhouse gas emissions in the construction, transportation and agriculture sectors by 40-70% by 2050 compared to baseline scenarios, although in some geographical areas of the Planet (and particularly those in developing countries), energy demand is likely to increase (IPCC, 2023). 'Soft' actions are particularly appealing not only because they tend to be robust,

flexible, and immediately implementable (MASE, 2023), but mainly because they require less financial commitment and have a character of urgency, as they must precede the 'green' and 'grey' actions and introduce facilitating elements to create the optimal conditions of land governance, for effective planning and subsequent implementation of 'non-soft' actions.

The economic theories directly related to 'soft' actions – of an 'immaterial' nature – in terms of mit-



Fig. 10-12 | Five digital characters guide visitors on a journey into the heart of renewable energy. A voice-recognition system was designed to engage the audience by allowing the guide to interact with avatars representing five renewable energies: hydro, geothermal, wind, marine, and solar. Their names are: Idro, Mariasole, Gaia, Marina and Levante.

igation are different and refer, for example, to the Economics of Happiness (Kahneman, 2007), the Sharing Economy (Botsman and Rogers, 2010), Qualitative Growth (Capra and Henderson, 2020) and Serene Degrowth (Latouche, 2015; Raworth, 2017), as well as the Economy of Sufficiency (Sachs, 2023), all related to the concepts of sobriety and the sense of limit. In particular, according to Arrobio Osman (2023), 'sufficiency' is at the same time a concept, a principle, a strategy and an achievable goal, as demonstrated in one of his recent publications, drawing on the studies and experiences on this subject (energy demand reduction, dematerialisation and service innovation) that are proliferating through the involvement of a growing number of different stakeholders, with effects at different scales.

The IPCC (2022) has internationally recognised the contribution that a policy marked by 'sufficiency' can make in mitigating climate change, describing it as a set of everyday measures and practices that avoid the demand for energy, materials, land and water while enabling well-being for all within the planetary boundaries first drawn by Rockström et alii (2009); according to the Report, its implementation can reduce climate-changing gas emissions by up to 17% without the need for often energy-intensive technological solutions.

A passionate advocate of the need to implement a policy based on 'sufficiency', David Ness (2022, 2023) recently reiterated that in order to meet the goal of equity, this must be implemented on a global scale and recognise a differentiated distribution of consumption to the benefit of developing countries according to the principle of 'shrink and share' already promoted by Kitzes et alii (2008). The same principle is expressed by Arup and Ellen MacArthur Foundation's Circular Buildings Toolkit (n.d.), according to which the best strategy to avoid intensive material consumption is based on 'building nothing' and 'refusing to make new artefacts unless they are needed'.

The international scientific community agrees that achieving decarbonisation and climate neutrality targets set by the European Union by 2030 and 2050 respectively (European Commission, 2021a, 2021b) can only be achieved through the concurrence of different strategies, pathways, measures and actions. One of the possible pathways to sustainable development is based on the Circular Economy (Ellen MacArthur Foundation, 2010), as embodied in the '8Rs' (Re-evaluate, Reconceptualize, Restructure, Redistribute, Relocate, Reduce, Reuse, Recycle) or again in the six ReSOLVE action areas (REgenerate, Share, Optimise, Loop, Virtualise and Exchange; Ellen MacArthur Foundation 2015a, 2015b).

This model rethinks economic growth entirely independent of the consumption of finite non-renewable resources and can be traced back to the theories by Walter R. Stahl (1976) who outlines the characteristics of a 'loop' economy with greater benefits on labour, economic development, resource conservation and waste control; later the model was taken up by Frosch and Gallopoulos (1989), proponents of a 'biological ecosystem' in which waste from industrial processes becomes raw materials for other processes, and finally to McDonough and Braungart (1998, 2002, 2013), who argued that design should be based on two circular loops, one technical and one biological, in

which resources are retained for as long as possible with minimal loss of quality and waste.

However, though resource efficiency and circular growth have been identified by the New Climate Economy (NCE, 2018) and the World Resources Institute (WRI, 2020) as the basis of a development agenda based on the principle that 'growth' can be 'decoupled' from its negative impacts on the environment, other studies note that the ambitious goals set by Paris cannot be achieved without a drastic reduction in the consumption of non-renewable natural resources (Hickel, 2019; EEB, 2020). This is also confirmed by the recent Report of the European Environment Agency (EEA, 2021) according to which the desired 'decoupling' is not happening and may never occur: this claim is supported by data according to which Europe is among the top regions in the world in terms of consumption and 'pressure' on the environment, and the circular economy fuels a growth strategy directed at resource consumption: during 2019 only 12% of material was recycled in the European Union, and, in the rest of the world circularity is declining (Circle Economy, 2021).

The European Environmental Bureau (EEB, 2021) suggests a possible solution, reporting a decalogue of actions attributable to 'sufficiency' and 'efficiency' policies and 'renewables in the document Sufficiency and Circularity – The Two Overlooked Decarbonisation Strategies. In view of the desired decarbonisation by 2030, it is, therefore, possible to hypothesise that the synergistic action of 'sufficiency' policies and 'circularity' approaches can yield significant benefits and generate greater effectiveness in terms of climate change mitigation: whether 'sufficiency' policies can significantly reduce resource demand and consumption in industrialised countries while leaving, on a principle of equity, developing countries to achieve the desired prosperity, the circular economy can optimise the value of the resources used (already reduced in quantity and volume by policies on 'sufficiency') by extending their life cycle through, for example, reuse, recycling and up-cycling actions, all by virtue of the now unavoidable requirements of durability, disassembly, reparability, maintainability, etc.

This is where the term 'innovability' comes into play: it is attributed as a renewed driving force for a new development paradigm expressing one of the most crucial challenges of our time and the need for a 'solidary' convergence between the two inescapable instances of 'innovation' and 'sustainability', sure that they are inseparable from the more general environmental, social, and ethical impact of design disciplines.

The subject is extremely relevant, as evidenced by the Exhibition entitled Transform! Designing the Future of Energy, which opened on March 23rd, 2024, in the spaces of the Vitra Design Museum in Weil am Rhein, where energy is showcased, interpreted as the main driving force of society as well as a political issue, invisible but omnipresent, wrongly believed in past centuries to be an inexhaustible resource. Today, we know that this is not the case and that using it sustainably and efficiently is crucial to the Earth's future. The message in the exhibition curated by Jochen Eisenbrand is that Design can and should play an essential part in the transition to renewable energy, as all buildings, infrastructure, and products relat-

ed to energy generation, distribution, and use are human-designed.

It, therefore, becomes essential to understand the kind of transformation that Design can implement in these areas: from everyday products that use renewable sources to the design of solar houses and wind farms, from smart mobility systems to futuristic visions of self-sufficient cities. Several questions need to be asked: what are the criteria for designing innovatively and sustainably? How can Design encourage the decarbonisation process? How can the industry, government policies, and each of us lay the foundation for a future that does not threaten the health of the Planet (Kries and Eisenbrand, 2024)?

Design is being called upon to answer these questions consistently with those who believe it can catalyse radical changes on multiple levels and at different scales. According to Alice Rawsthorn and Paola Antonelli (2022), we need to trust in the visionary nature of designers and architects, whose inventions and works of ingenuity give us hope for the future; on closer inspection, they have always done so through path-breaking projects that have moved disciplinary boundaries forward. For the two curators, authors of the volume Design Emergency, it is important that Design, by resorting to collective intelligence, plays this role in all ages, especially today in light of the many emergencies that are before everyone's eyes, among which the climate and energy crises stand out, firmly intertwined.

Timothy Morton (2010) has a similar idea and argues that the ideology of emergence states that we don't need to take responsibility for good decisions – they will happen 'naturally', but to tackle pollution, climate disruption, and radiation, we must think and act big, which means thinking and acting collectively: this will take conscious input and we will have to choose to act and think together. Equally important is mapping, documenting and publicising the activities of those creative minds whose ability to come up with innovative solutions confirms how Design can be an essential tool for addressing the significant challenges of our time and taking advantage of advances in science and technology.

Dotdotdot: a holistic approach to transitions |

Against this backdrop, in search of significant examples avowedly at the forefront of promoting positive change, the work accomplished over the past 20 years by Dotdotdot, a Milan-based multidisciplinary collective whose statement is 'We design innovative human experiences', serves as a case study. Founded by Laura Dellamotta (architect), Giovanna Gardi (architect), Alessandro Masserdotti (interaction designer) and Fabrizio Pignoloni (designer), the Firm now has a Team of more than 30 people with heterogeneous profiles including developers, engineers, sound designers, storytelling and strategic design experts. Their engagement in the world of design can be defined through the words of Alice Rawsthorn (2018), from the publication Design is an Attitude, in which she speaks of a new generation of designers using digital tools to pursue their social, political and ecological goals, operating independently and redefining the discipline with instinct and ingenuity.

Interested in the integration of architecture, design, installations, digital technologies and new

media, as well as how we live in the present and plan for the future, Dotdotdot has used innovation, understood in its broadest sense since 2004, to create new and unique ways for human beings to interact with the world. Unique in the Italian scene as a pioneer of interaction design, its work develops dynamically by experimenting with cutting-edge projects representing as many forms as possible of documentation, information, action and communication, involving communities and people.

Over the years, the firm has consolidated expertise and experience in developing digital strategies and designing integrated and customised digital systems for companies, museums, historical archives, work environments, healthcare facilities, and, more generally, aimed at smart living. In 2014, the Firm founded OpenDot, a Fab Lab that is, also and above all, a research hub created from the need to give life to a shared, open space dedicated to rapid prototyping and technological experimentation, a meeting point between new skills and traditional knowledge.

According to Dotdotdot, speaking about the energy transition in a conscious manner requires moving beyond a hitherto prevailing concept (that of Human-centred Design) by shifting the focus to the totality of the environment around us, changing the way of acting from a participatory design that focuses on the needs of people within a context with which it is urgent to deal to understand its complexity and enhance its multidimensionality. This reflection, the basis of the Firm's policy and philosophy, shared with principals and stakeholders involved upstream in individual creative processes, is the starting point to understand through a balanced mix of theory and practice (an ongoing practice based on lifelong learning), how to innovate people's lives profoundly, services and everything around people while respecting the overall balance of the ecosystem.

The appeal is clear and is expressed through the projects signed by the Milan-based collective, which represent continuous happenings characterised by a strong connection to the space in which they take place. Today, nothing within the design context can be overlooked: it is necessary to have a keen eye toward every area of design to strike a balance between technology and policy, individuals and the environment, making sure that innovation responds to real needs, includes multiple scenarios, promotes expanded forms of research into other fields, and, finally, takes into account the importance of processes that can be triggered within a circular economy and ecosystem. Therefore, the approach to the project is holistic: not a purely 'problem-solving' attitude concerning a specific client request, but rather a broad and conscious look at the different scales of a reality probed through heterogeneous skills capable of structuring the project in all its facets, interpreting and translating its different languages.

Central to the approach is the word 'innovation', which, for Alessandro Masserdotti, has varying levels: when it comes to so-called frontier innovation, it is unlikely, especially at the beginning, to prove perfectly compatible with the environment. A perfect example of this is CERN's (Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire) Large Hadron Collider (LHC), the world's largest particle accelerator located in an underground tunnel 100

meters deep in the French-Swiss border area near Geneva (Mandraccio, 2020): when it is active it consumes 200-megawatt hours of electricity or the energy needs of a city of 300,000 people: it is difficult to classify it as sustainable. That said, rather than simply considering the current impact of such a structure, it would be important to understand its *raison d'être*, placing it in a long-term vision.

For Dotdotdot, this is crucial: especially when dealing with technological and digital innovation, there is often an energy impact in the early stages of new experimentation: an example in the health sector is the digital manufacturing work done by the firm with 3D printers for postural braces: before reaching a sustainable and useful tool, involving doctors, therapists, nurses, makers, designers, caregivers, and patients, a considerable amount of waste plastic material was produced, but the outcome is a more comfortable, washable solution made from a natural material rather than PLA. It is a matter of harmony: we must, in short, find the balance between costs and benefits, intervening on the different levels of innovation.

This means that while the beginning of any experimental energy process impact at the design level can be significant and not negligible, it can and should be reduced significantly at the following stage (referable to technology transfer). Regarding CERN in Geneva, it is conceivable that research, as energy-intensive as the facility is now, will lead in the future to the development of greater control and awareness of the use of atoms: sooner or later, the notorious quantum calculator will be realised, which will tend to have *n* times the computational capacity of a traditional computer for the same amount of power consumption.

The comparison defines the boundaries, or if one prefers, the limits, of the term 'innovability', especially when the levels of experimentation and *avant-garde* are very high. This does not mean abandoning a planet-centred approach, but rather being aware that the equation innovation equals sustainability is often, at first, unachievable and that it is crucial to make sure, by visualising the entire life cycle, that the initial higher demand for energy leads to a significant reduction in consumption in the medium and long term.

That's not all. An additional aspect needs to be considered when combining innovation and sustainability: the former has to do with new advances, often disruptive; the latter has to do with the drafting of standards, which turn into laws and prescriptions. In Dotdotdot's vision, innovation is never rule-compliant since it does not (and cannot) derive from an established and normalised practice; if anything, it is the opposite: it intervenes to promote a change in those norms and prescriptions that over time become out of date, to create new standards that are more in keeping with the demands of progress: the project, in this situation, becomes the *trait d'union* between the different factors at play, updating and transforming processes through actions that are factual statements of intent.

It is the eternal dialectic between dynamism and stasis: innovation often breaks the rules, albeit with the awareness of making a political gesture that goes in the right direction. In this case, the attention to the Planet, from an allocentric perspective, is directed to different and constantly

evolving areas (technology, society, communication, environment, etc.), all interested in ecological, digital and energy transitions that are inevitably linked. In this second decade of the new century, it is becoming increasingly apparent that the crucial problems of our time – energy, environment, climate change, food security, financial security – cannot be studied and understood separately, as they are systemic problems, and that means they are interconnected and interdependent. (Capra and Henderson, 2020).

Dotdotdot's research lies within this broad vision, in which innovation is an intellectual priority and sustainability is a political, ethical and social necessity, supported by material and intangible, interscalar and interdisciplinary tools, aimed at the pursuit of shared progress in which technology is never the ultimate goal, but rather a versatile and multifaceted tool that opens surprising scenarios, and where data represents a form of knowledge that has enormous value.

Coming back to the issue of the energy transition, it is no coincidence that, in recent years, the Firm has often professionally confronted the topic of energy, interpreted and told from different points of view by reflecting on how much the anthropogenic transformation of the Planet represents an energy-consuming action to be aware of. It is no coincidence that design opportunities have arisen, as Alessandro Masserdotti believes that the orders received from companies such as Enel, Eni and Edison are due to the recognition of Dotdotdot's ethical and political philosophy on the issues of sustainability and innovation, the latter being central to all of the firm's projects and appreciated by companies whose goal is second-tier innovation, rather than frontier innovation, inseparable from the demands of 'innovability'.

Dotdotdot: storytelling and awareness for the energy transition | Earth Bits – Sensing the Planetary at the Museum of Art, Architecture and Technology in Lisbon (2021), Enel Green Power's Immersive Exhibition in Trezzo sull'Adda (2019), and the ENI Circular Future Kit, conceived as OpenDot (2019) beautifully exemplify the concepts of 'innovability' and 'transition' as technology-driven interactions in which Design communicates ideas, stimulates the imagination and reshapes behaviour. The three projects are experiences to be lived in a temporary dimension, as well as examples of how Design can develop new narratives, visualise the future of alternative energies, and hypothesise multiple approaches to the problem with different scales of reasoning: according to Dotdotdot, they are forms of dialogue between two worlds, the technical-scientific and the design-dissemination.

Earth Bits – Sensing the Planetary, the immersive installation for MAAT (Fig. 1-5) strongly desired by its then Executive Director Beatrice Leanza², focuses on climate change, approached from a narrative point of view through four multimedia installations, with appropriate communicative tools and the right sensitivity to engage the visitor in a path capable of stimulating critical thinking and producing knowledge through the confrontation between science, culture and society.

The narrative focuses on emotional technology, with an almost agnostic attitude, to reach the largest possible audience through an objective view of the problem. Technology, far from being



Figg. 13-15 | Eni Circular Kit (2019) is a travelling educational project aimed at schools, explaining the circular economy to children in a playful and understandable way. The concept is based on four interactive folders designed in collaboration with Eni's communication and R&D department. The importance of daily actions is presented at the same level as the company's technological innovations to emphasise that each can produce benefits for the present and the future. The kit, created through digital manufacturing, illustrates four actions: producing and storing energy from renewable sources, repairing past mistakes, and learning how to transform waste into resources. Each activity is based on a question children must answer by thinking, playing and theorising actions through trial and error.

a tool of domination, becomes an extension of the human capacity to understand and conserve our Planet: the goal is not to take a moral stance but to have data speak for itself, recounting facts and increasing people's awareness through the evidence and quantity of information transmitted, translated and delivered to visitors in an accessible way through multimedia.

According to Laura Dellamotta, simply making data understandable to a large number of people enables the generation of inputs with social impacts. For Dotdotdot data has cultural value, fully aware that we live in an age in which it is produced incessantly, representing on the one hand the new oil³ (Arthur, 2013), and on the other hand a new form of knowledge: «[...] We can say that Kepler was the first researcher to make a data-driven scientific discovery from data collected by the astronomer Tycho Brahe on the planets' position. In Kepler's time, the problem was to make sense of the data, which was still humanly manageable. Today, data is too complicated and has vast qualities. It has become obscure and distant if it is not reworked and "processed" before being made available to people» (Dotdotdot, 2021).

Earth Bits – Sensing the Planetary is more than just staging a message. The Milanese collective structured storytelling to transfer the data, the project's starting point, within a journey in which it becomes emotional and didactic matter. The itinerary unfolds in a crescendo that starts with an awareness of the environmental crisis, runs through the impact of our choices on the Planet as citizens and as consumers, and ends with a leap in perspective on a cosmological plane that offers a contemplative global view of the impoverishment of the Earth at the hands of man.

By shifting the point of view, the Exhibition visualises in succession the significance of small everyday actions, raising questions, for example, on the energy impact of sending an email, entering a call on Zoom or browsing social media) and then considers, regardless of the behaviours of individuals, the impact of the context in which one lives, of the country in which one lives that perhaps has multiple subway lines, airports, high-speed trains, and daylighting at night. The last metaphor used is the tale of the first astronauts looking at Earth from Space as one big world: a

way of saying that a global solution must be found.

Crucial to the success of the project was the involvement of entities that provided the data: the European Space Agency (ESA), through information collected by the Copernicus program, the world's largest open source dataset that monitors the Earth and its environment for the benefit of all European citizens; the International Energy Agency (IEA), which runs an information system and study of energy dynamics at the international level and was involved in quantifying the carbon footprint; and EDP (Energias De Portugal), a world leader in energy and energy transition, which provided data on monitoring local electricity consumption.

It is worth pausing to consider the relevance of the Copernicus project, whose data and images, a valuable tool for researchers and scholars engaged in environmental protection (Magliocco and Canepa, 2022), populated the large digital wallpaper on display, emphasising the complexity of the relationship between innovation and sustainability, entrusted in this case to six satellites (sentinels) with a high cost, probably also in terms of energy impact, whose task is to monitor the health of the Planet constantly.

As in the CERN mentioned above case, it seems that Copernicus presents an apparent contradiction: consuming large amounts of energy to monitor the Earth through a massive and widespread collection of open data, which it is not possible to avoid collecting as it provides accurate and timely information (12 terabytes of data per day) helpful in protecting it. The metaphor, however, nicely represents the tension embedded in the term 'innovability' and leads to an interesting reflection: compared to the past, the 21st century has seen significant improvements in energy efficiency, as well as greater availability and accessibility to energy-efficient and renewable technologies.

However, these advances are counterbalanced by a global demand for energy, whose steady increase is mainly due to the proliferation of electronic and digital devices. Thus, while it is impossible not to recognise the improvements brought about by smarter energy use, it must be acknowledged that many of the innovations are the result of production processes dependent on 19th-century energy sources and harmful extractive practices (Rossi, 2024).

The recourse to a new sensitivity to similar issues can be seen in Dotdotdot's Exhibition for Enel Green Power (Figg. 6-12), developed inside a historic hydroelectric power plant: the Taccani plant in Trezzo sull'Adda has thus become the 'home' of five hyper-technological avatars used to narrate clean energy, Enel Group's core business dedicated to the renewable sector, in a playful yet scientific way.

As a first step in Centrali Interattive, Dotdotdot designed a series of comic-inspired 'characters' to give presence and soul to an intangible and abstract dimension such as energy along a modular and replicable itinerary designed in stages as if it were a game, aiming at greater involvement of visitors, with a specific focus on the youngest visitors, i.e. students of Middle and High Schools. The five characters represent the personification of clean and renewable energy sources (hydroelectric, geothermal, wind, marine and solar) entrusted to the appearance and voices of Idro, Gaiia, Levante, Marina and Mariasole, protagonists of an installation that places the visitor at the centre of a memorable experience in which the power station becomes a place of training and entertainment.

The permanent exhibition is set up in Gaetano Moretti's industrial masterpiece, where past, present and future intertwine in the narrative: alternators and turbines coexist with infographics, light boxes, lenticular panels, monitors and projections that inform and entertain. Once again, at the heart of the project is narrative storytelling that leads to an end game by telling how the energies we consume are in fact created.

The goal is to provide awareness of production processes, but also of how they are used and/or wasted, offering complex information returned in an understandable way, helping us to understand, for example, that energy is already within us: for this purpose, Kinect detects people's movement and translates it into visual feedback that quantifies the energy produced. Many historical aspects are also showcased through the timeline of technological discoveries, reviewed in an interactive key, and with a 360-degree animated video explaining the operation of all energy sources.

Empathy guides visitors, who enter into a direct relationship with digital alter egos activated through a special voice recognition system. The

artificial intelligence driving the avatars can respond more or less simplified depending on whether the visitors are schoolchildren or adults, using actors' voices rather than the digital, depersonalised voices of popular voice assistants.

The third selected project, ENI Circular Future Kit (Figg. 13-15), was designed to explain the circular economy to the younger generation: four interactive boards, divided into as many themes, explain ENI's circular innovations to secondary school children through play. For Dotdotdot, who have also recently collaborated with the National Institute of Nuclear Physics by creating the exhibit Quantum – The Revolution in One Leap in Trento, this is a challenge rather than an attitude, revitalised on each occasion with ideas that are updated and evolve in real-time to make complexity accessible, whatever the age.

In the project in Trezzo sull'Adda, the school was required to go to Enel; however, Eni goes directly into classrooms to describe what renewable energy is to the company, with the help of a transportable kit on wheels made through digital manufacturing. The concept, resulting as always from interdisciplinary work, stems from the specific need for a clear vision of the reality and the future that awaits us. Doing so requires asking questions (which are those that Dotdotdot envisions), the result of translating, synthesising, and communicating information. Four questions with multiple levels of depth describing concrete scenarios that are easy to visualise: Why do we need batteries if the wind makes energy? Why are there many solar panels if the sun is only one? Why do we plant plants if the soils are polluted? Why should we avoid wasting even a single banana peel?

Simple answers to complex questions do not exist, but there are ways to narrate complexity to make it more understandable: for example, creating four interactive boards that, through clear explanations of production, preservation, repair, and transformation, recount the need to move toward a circular future through technological innovation and co-design. Operation is highly intuitive and is facilitated by cleverly hidden and integrated technology; responses are triggered by a 'test'

Acknowledgements

The contribution is the result of the common reflection of all the Authors; however, the coordination, literary research, supervision of the final draft and the paragraphs 'Innovability and mitigation through new behavioural patterns and economic development based on sufficiency and the circular economy' and 'Conclusions' have to be attributed to A. Valenti and F. Scalisi while the other paragraphs have to be attributed to all Authors in equal parts.

Relevant credits are given for the following projects:
a) Exhibition 'Earth Bits – Sensing the Planetary' (2021) | Exhibition and Interaction Design: Dotdotdot; Team: L. Dellamotta, A. Masserdotti, F. Pignoloni, S. Maniscalco, F. Mandelli, J. A. a Samsen, N. Ariutti, D. Ciminieri, M. Merigo, G. Cirillo, M. Invernizzi, T. Berti, and A. Ornaghi; Scientific Partners: EDP Innovation and Sustainability, ESA (European Space Agency), and IEA (International Energy Agency); Photographs: Dotdotdot, F. Nogueira, B. Lopes, and P. Pina;
b) Exhibition 'Enel Interactive Stations' (2019) | Interac-

tion, the accuracy of which is evaluated on the monitor with precise and timely feedback that aids learning and exposes why the elimination of fossil fuels is urgently needed to reduce global carbon emissions and stop climate change. The beneficial effects on our future will only occur as we gradually shift to renewable energy sources, with repercussions on our everyday lives.

Conclusions | Achieving decarbonisation goals cannot be separated from considering the interests and perspectives of a society and its various stakeholders: according to the IPCC (2018), overly 'aggressive' and 'imposed from above' actions could generate social tensions and be understood as a limitation of the individual's ambition for well-being, and thus fail to produce the desired result. It is, therefore, important to reach a shared path toward decarbonisation and for the concept of 'just transition' to be continually and concretely articulated in measures that distribute benefits and costs equitably, without leaving behind those who may be adversely affected by the transition. Achieving climate neutrality requires policy choices with high social and economic impact and technologies that are not yet ready and must be fine-tuned with international cooperation.

It is important to keep in mind that mitigation pathways, and in particular their diffusion and capacity to impact climate change, are conditioned by the level of mutual involvement of politics, citizens, businesses and other stakeholders, but also by specific local conditions (financial, natural systems, socio-cultural factors, etc.); however, by combining mitigation with 'soft' actions aimed at changing current lifestyle behaviours, it is possible to overcome barriers and pave the way for a wider range of mitigation options.

To stimulate a 'behavioural' response, users need to be aware primarily of the scale of the climate challenge, the risks from excessive consumption of energy and non-renewable natural resources, and subsequently of the mitigation options available; at the same time, behaviour and lifestyle changes need to be supported by policies, infrastructure, and technologies that are as useful in re-

ducing global greenhouse gas emissions as they are in staging digital, multimedia, and interactive narratives that succeed in transforming the set-up into an experience (Di Salvo and Arcoraci, 2020; Dal Falco and Bonomi, 2021; Arquilla and Paracolli, 2023).

'Climate literacy' through educational and informational programs, using arts and science with a participatory, if not playful, approach, can increase awareness and risk perception, changing users' behaviours in the knowledge that the individual can contribute as well: the way these programs are presented and implemented can be both their limitation and the strength ensuring the action's success.

In this perspective, Dotdotdot's experimental activities are relevant, as they are able to engage users through skilful storytelling while activating awareness of the climate emergency, and of the issues of energy and circular economy, among the 17 Sustainable Development Goals of the 2030 Agenda. Dotdotdot does this through Design, with a focus on training and education, in the belief that this discipline, which in recent years has adopted different meanings in different contexts, can, among other tasks, be a possible agent of change capable of responding to the increasingly rapid transformations of societies, politics, economics, science, technology, culture, and ecology; transformations that must be addressed as well as explained, understood, and metabolised, creating bridges between the various forms of knowledge and end users.

Understanding how science and technology may assist us is likely to be instrumental in ensuring that new solutions are either accepted or rejected by society: the culture of the 'project' can accomplish a great deal through 'soft' (Fagnoni and Olivastro, 2019), replicable, diverse and inclusive actions, embracing people from heterogeneous fields who are eager to engage in contemporary challenges.

3) Clive Humby, a British data scientist and mathematician, coined the slogan 'Data is the new oil' in 2006, referring to the Fourth Industrial Revolution.

References

- Arquilla, V. and Paracolli, A. (2023), "Design sull'esperienza dell'utente e sostenibilità degli oggetti con intelligenza artificiale | User experience design and sustainability of AI-infused objects", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 13, pp. 259-268. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/13222023 [Accessed 12 April 2024].
- Arthur, C. (2013), "Tech giants may be huge, but nothing matches big data", in *The Guardian*, 23/08/2013. [Online] Available at: theguardian.com/technology/2013/aug/23/tech-giants-data [Accessed 12 April 2024].
- Arup and Ellen MacArthur Foundation (n.d.), *Circular Building Design Toolkit*. [Online] Available at: ce-toolkit.dhub.arup.com/strategies [Accessed 12 April 2024].
- Botsman, R. and Rogers, R. (2010), *What's mine is yours*,

Harper Business, London.

Capra, F. and Henderson, H. (2020), *Crescita qualitativa – Per un'economia sostenibile e socialmente equa* [or. ed. *A conceptual framework for finding solutions to our current crisis that are economically sound, ecologically sustainable, and socially just*, 2014], Aboca, San Sepolcro (AR).

Circle Economy (2021), *The Circularity Gap Report 2021*. [Online] Available at: circle-economy.com/resources/circularity-gap-report-2021 [Accessed 12 April 2024].

Dal Falco, F. and Bonomi, S. (2021), “Comunicare il museo tra analogico e digitale – Un'esperienza di progettazione multimediale interattiva | Communicating the museum between analogue and digital – Interactive multimedia design experience”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 10, pp. 200-209. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/10182021 [Accessed 12 April 2024].

Di Salvo, A. and Arcoraci, A. (2020), “Connessioni umane – Progettare artefatti interattivi attraverso narrazione e speculazione | Human connections – Design interactive artefacts through narration and speculation”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 8, pp. 254-261. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/8242020 [Accessed 12 April 2024].

Dotdotdot (2021), “Il valore culturale dei dati”, in *Medium*, 23/02/2021. [Online] Available at: theguardian.com/technology/2013/aug/23/tech-giants-data [Accessed 12 April 2024].

EEA – European Environment Agency (2021), *Growth Without Economic Growth – Narratives for Change*. [Online] Available at: eea.europa.eu/downloads/eed0c89209641548564b046abcaf43e/1617707707/growth-without-economic-growth.pdf [Accessed 12 April 2024].

EEB – European Environmental Bureau (2021), *Sufficiency and Circularity – The Two Overlooked Decarbonisation Strategies in the 'Fit for 55' Package*. [Online] Available at: eeb.org/library/sufficiency-and-circularity-the-two-overlooked-decarbonisation-strategies-in-the-fit-for-55-package/ [Accessed 12 April 2024].

EEB – European Environmental Bureau (2020), *A circular economy within ecological limits – Why we need to set targets to reduce EU resource consumption and waste generation in the new Circular Economy Action Plan*. [Online] Available at: mk0eeborgiucyupctuf7e.kinstacdn.com/wp-content/uploads/2020/02/A-circular-economy-within-ecological-limits.pdf [Accessed 12 April 2024].

Ellen MacArthur Foundation (2015a), *Delivering the Circular Economy – A Toolkit for Policymakers*. [Online] Available at: ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/EllenMacArthurFoundation_Policy-makerToolkit.pdf [Accessed 12 April 2024].

Ellen MacArthur Foundation (2015b), *Growth Within – A Circular Economy Vision for a Competitive Europe*. [Online] Available at: ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/EllenMacArthurFoundation_Growth-Within_July15.pdf [12 April 2024].

Ellen MacArthur Foundation (2010), *Towards the Circular Economy – Economic and business rationale for an accelerated transition*. [Online] Available at: werktrends.nl/app/uploads/2015/06/Rapport_McKinsey-Towards_A_Circular_Economy.pdf [12 April 2024].

European Commission (2021a), *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – 'Fit for 55' – Delivering the EU's 2030 Climate Target on the way to climate neutrality*, document 52021DC0550, 550 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021DC0550&qid=1708525014805 [Accessed 12 April 2024].

European Commission (2021b), *Regulation (EU) 2021/1119 of the European Parliament and of the Council of 30 June 2021 establishing the framework for achieving climate neutrality and amending Regulations (EC) No 401/2009 and (EU) 2018/1999 ('European Climate Law')*, document 32021R1119, PE/27/2021/REV/1. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32021R1119 [Accessed 12 April 2024].

Fagnoni, R. and Olivastri, C. (2019), “Hardsign vs Soft-design”, in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 5, pp. 145-152. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/5162019 [Accessed 12 April 2024].

Frosch, R. A. and Gallopoulos, N. E. (1989), “Strategies for manufacturing”, in *Scientific American*, vol. 261, n. 3, pp. 144-153. [Online] Available at: jstor.org/stable/24987406 [Accessed 12 April 2024].

Galofaro, L. (2024), “Strumenti per progettare il mondo che verrà | Tools to design the world who come”, in *Domus*, n. 1086, p. 72.

Hickel, J. (2019), “Degrowth – A Theory of Radical Abundance”, in *Real-World Economics Review*, issue 87, pp. 54-68. [Online] Available at: paecon.net/PAERReview/issue87/whole87.pdf#page=54 [Accessed 12 April 2024].

IEA – International Energy Agency (2023), *Energy Technology Perspectives 2023*. [Online] Available at: iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2023/executive-summary [Accessed 12 April 2024].

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2023), *Climate Change 2023 – Longer Report*. [Online] Available at: report.ipcc.ch/ar6syr/pdf/IPCC_AR6_SYR_LongerReport.pdf [Accessed 12 April 2024].

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2022), *Climate Change 2022 – Mitigation of climate change – Working Group III 6th Assessment Report*. [Online] Available at: ipcc.ch/report/ar6/wg3/ [Accessed 12 April 2024].

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2018), *Global warming of 1.5 °C*. [Online] Available at: ipcc.ch/sr15/ [Accessed 12 April 2024].

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2014), *Climate Change 2014 – Mitigation of Climate Change – Working Group III Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [Online] Available at: ipcc.ch/report/ar5/wg3/ [Accessed 12 April 2024].

Kahneman, D. (2007), *Economia della felicità*, Il Sole 24 Ore, Milano.

Kitzes, J., Wackernagel, M., Loh, J., Peller, A., Goldfinger, S., Cheng, D. and Tea, K. (2008), “Shrink and Share – Humanity's Present and Future Ecological Footprint”, in *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, vol. 363, issue 1491, pp. 467-475. [Online] Available at: doi.org/10.1098/rstb.2007.2164 [Accessed 12 April 2024].

Kries, M. and Eisenbrand, J. (eds) (2024), *Transforms! Designing the Future of Energy*, Vitra Design Museum, Weil am Rhein.

Latouche, S. (2015), *Breve trattato sulla decrescita serena e come sopravvivere allo sviluppo*, Bollati Boringhieri, Milano.

Magliocco, A. and Canepa, M. (2022), “Crusotti a servizio della governance – Monitoraggio di indicatori di prestazione e indicatori aggregati | Governance dashboards – Monitoring of key performance and aggregate indicators”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 12, pp. 36-45. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1232022 [Accessed 12 April 2024].

Mandraccio, L. (2020), “CERN – Paradigma multiscale | CERN – Multiscale Paradigm”, in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 7, pp. 54-63. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/762020 [Accessed 12 April 2024].

MASE – Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (2023), *Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici*. [Online] Available at: mase.gov.it/pagina/piano-nazionale-di-adattamento-ai-cambiamenti-climatici-pnacc [Accessed 12 April 2024].

McDonough, W. and Braungart, M. (2013), *The Upcycle – Beyond Sustainability – Designing for Abundance*, North Point Press, USA.

McDonough, W. and Braungart, M. (2002), *Cradle to Cradle – Remaking the Way We Make Things*, North Point Press, USA.

McDonough, W. and Braungart, M. (1998), “The next Industrial Revolution”, in *The Atlantic Monthly*, October issue. [Online] Available at: theatlantic.com/magazine/

archive/1998/10/the-next-industrial-revolution/304695/ [Accessed 12 April 2024].

Morton, T. (2010), *Come un'ombra dal futuro – Per un nuovo pensiero ecologico*, Aboca, San Sepolcro (AR).

NCE – New Climate Economy (2018), *Unlocking the Inclusive Growth Story of the 21st Century – Accelerating Climate Action in Urgent Times*. [Online] Available at: newclimateeconomy.report/2018/ [Accessed 12 April 2024].

Ness, D. A. (2023), “Technological efficiency limitations to climate mitigation – Why sufficiency is necessary”, in *Buildings & Cities*, vol. 4, issue 1, pp. 139-157. [Online] Available at: doi.org/10.5334/bc.297 [Accessed 12 April 2024].

Ness, D. (2022), “Beyond circularity – Do we need to shrink and share”, in Pál, V. (ed.), *Social and Cultural Aspects of the Circular Economy*, Routledge, pp. 194-203. [Online] Available at: doi.org/10.4324/9781003255246-12 [Accessed 12 April 2024].

Osman, A. (2023), *Per un'economia della sufficienza*, Edizioni Ambiente, Milano.

Pardo, M. (2023), “Innovability – La sostenibilità come driver per innovare i modelli di business”, in *8 riflessioni sulla trasformazione – La contemporaneità – Ruolo politico del design e nuove prospettive del progetto*, Edizioni Finoa, Milano, pp. 37-47.

Rawsthorn, A. (2018), *Design as an Attitude*, JRP, Geneva.

Rawsthorn, A. and Antonelli, P. (2022), *Design Emergency – Building a Better Future*, Phaidon, London.

Raworth, K. (2017), *Doughnut Economics – Seven ways to think like a 21st-century economist*, Random House, London.

Richardson, K., Steffen, W., Lucht, W., Bendtsen, J., Cornell, S. E., Donges, J. F., Druke, M., Fetzer, I., Bala, G., von Bloh, W., Feulner, G., Fiedler, S., Gerten, D., Gleeson, T., Hofmann, M., Huiskamp, W., Kummer, M., Mohan, C., Nogués-Bravo, D., Petri, S., Porkka, M., Rahmstorf, S., Schaphoff, S., Thonicke, K., Tobian, A., Virkki, V., Wang-Erlandsson, L., Weber, L. and Rockström, J. (2023), “Earth beyond six of nine planetary boundaries”, in *Science Advances*, vol. 9, issue 37, article eadh2458, pp. 1-16. [Online] Available at: doi.org/10.1126/sciadv.adh2458 [Accessed 12 April 2024].

Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S., Lambin, E., Lenton, T. M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H. J., Nykvist, B., de Wit, C. A., Hughes, T., van der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P. K., Costanza, R., Svedin, U., Falkenmark, M., Karlberg, L., Corell, R. W., Fabry V. J., Hansen, J., Walker, B., Liverman, D., Richardson, K., Crutzen, P. and Foley, J. (2009), “Planetary Boundaries – Exploring the Safe Operating Space for Humanity”, in *Ecology and Society*, vol. 14, issue 2, article 32, pp. 1-33. [Online] Available at: jstor.org/stable/26268316 [Accessed 12 April 2024].

Rossi, C. (2024), “Design's Energy Transition – Rethinking Products, Reducing Energy, and Redesigning Behaviours”, in Kries, M. and Eisenbrand, J. (eds), *Transforms! Designing the Future of Energy*, Vitra Design Museum, Weil am Rhein, pp. 118-127.

Sachs, W. (2023), *Economia della sufficienza – Appunti per resistere all'Antropocene*, Castelvecchi, Roma.

Smil, V. (2023), *Size – How it explains the World*, William Morrow and Company, New York.

Smil, V. (2021), *Energia e Civiltà – Una storia*, Hoepli, Milano.

Stahel, W. R. (1976), *The Potential for Substituting Manpower for Energy*, Battelle Memorial Institute, Geneva.

UN – United Nations (2015a), *Paris Agreement*. [Online] Available at: unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf [Accessed 12 April 2024].

UN – United Nations (2015b), *Transforming our world – The 2030 Agenda for Sustainable Development*. [Online] Available at: sustainabledevelopment.un.org/content/documents/21252030%20Agenda%20for%20Sustainable%20Development%20web.pdf [Accessed 12 April 2024].

WRI – World Resources Institute (n.d.), *Zero Carbon Buildings for All*. [Online] Available at: wrirosscities.org/ZeroCarbonBuildings [Accessed 12 April 2024].

ARTICLE INFO

Received	31 January 2024
Revised	18 March 2024
Accepted	13 April 2024
Published	30 June 2024

LA DECARBONIZZAZIONE DEGLI EDIFICI SARÀ SUFFICIENTE?

Limitare e ridistribuire l'aumento di superficie costruita

WILL DECARBONISING BUILDINGS BE ENOUGH?

Constrain and redistribute growth in floor area

David Ness

ABSTRACT

Se per fronteggiare il cambiamento climatico la decarbonizzazione dell'ambiente costruito è indicata come la principale strategia attraverso energie rinnovabili ed efficienza energetica, tuttavia essa non prende in esame il ruolo svolto dall'aumento di superficie costruita e il relativo consumo indiscriminato di materiali e risorse naturali che invece, spostando il quadro di riferimento, dovrebbero essere considerati come la causa principale non solo dei cambiamenti climatici, ma anche della perdita di biodiversità e dell'aumento delle disuguaglianze nel mondo. Il recente riconoscimento dell'importanza del carbonio incorporato ha portato una maggiore attenzione a un diverso approccio finalizzato a ridurre e ridistribuire l'aumento di superficie costruita, basandosi su dati statistici relativi al carbonio, alla superficie edificata e alle diverse tipologie edilizie. Prendendo in esame gli scenari di crescita e utilizzando un approccio creativo sistemico e il concetto di 'innovability', il saggio introduce il ruolo della 'sufficienza' per ridurre il consumo di nuovo suolo e per rispondere alle esigenze dei nuovi servizi resi possibili dalla digitalizzazione. Se da un lato questo cambiamento trasformativo può ridurre drasticamente le emissioni di carbonio, la perdita di biodiversità e le disuguaglianze, dall'altro pone sfide e opportunità importanti per architetti, progettisti e altri operatori del settore.

While decarbonising the built environment is a dominant strategy in tackling climate change, centred on renewable energies and energy efficiency, it overlooks the role played by growth in built floor area in overconsumption of material and other natural resources. Shifting our frame of reference enables us to view this as the root cause of not only climate change, but also the destruction of biodiversity and increased global inequity. Recent recognition of embodied carbon has led to increased attention to ways of reducing and redistributing growth in global floor area – for both new builds and renovations – based upon carbon budgets with floor area projections and allocations for various building typologies. In reviewing growth projections, and employing creative systems thinking and 'innovability', the essay introduces the role of 'sufficiency' in avoiding, reducing and prioritising demand in the built environment, coupled with novel ways of meeting service needs enabled by digitalisation. While such a transformative change may dramatically reduce carbon consumption, biodiversity loss and global inequity, it also poses major challenges and opportunities for architects, designers and other industry stakeholders.

KEYWORDS

emergenza climatica, sufficienza, sovraconsumo di risorse, disuguaglianza, innovability

climate emergency, sufficiency, overconsumption of resources, inequality, innovability



David Ness, Architect and PhD, is an Adjunct Professor within UniSA STEM at the University of South Australia. He focuses on 'sufficiency' among ways to deliver more services with less resource consumption, carbon, and cost. David was awarded the ARUP Global Research Challenge 2017 for adapting the circular economy to the built environment. He has advised UN ESCAP and UN-Habitat on 'green growth' and eco-efficient and inclusive infrastructure. E-mail: david.ness@unisa.edu.au

La risposta all'emergenza climatica viene spesso enfatizzata in termini di 'decarbonizzazione', promuovendo una transizione energetica basata sulle energie rinnovabili e sul miglioramento dell'efficienza energetica dell'ambiente costruito. Tuttavia raramente ci si rende conto che il consumo di risorse materiali – comprese quelle associate agli impianti per le energie rinnovabili – gioca un ruolo importante nel computo dell'energia utilizzata e delle emissioni generate (Haigh, 2023; Fig. 1). Probabilmente, per fornire una risposta più incisiva, dovremmo spostare il focus dalla decarbonizzazione al consumo eccessivo di materiali e altre risorse non rinnovabili che è triplicato negli ultimi 50 anni (UNEP, 2024), considerando, in una prospettiva più ampia, che il cambiamento climatico è uno dei sei limiti planetari che richiedono un'attenzione urgente e che anche altri, tra cui la perdita di biodiversità, sono stati già superati (Rockström et alii, 2023).

Tali questioni dovrebbero essere affrontate nel rispetto degli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (SDG), e in particolare con azioni per il clima (SDG 13), per la riduzione delle disuguaglianze (SDG 10) e per la vita sulla terra (SDG 15). Secondo Stahel (2008), rispondere alle sfide climatiche, come ad altre sfide, non è solo una questione di riduzione delle emissioni, ma anche di etica globale; probabilmente l'eccessivo consumo di risorse è l'elemento comune e alla radice di tutte queste crisi, con il 18% della popolazione che assorbe il 74% del consumo globale (Steffen et alii, 2015). Friends of the Earth Europe (2022) ha sottolineato che «Our core ecological problem is not climate change. It is overconsumption, with climate change and its social inequalities as the symptom». Una tale visione è ben rappresentata nel diagramma a 'coppa di champagne' (Fig. 2), inserito nell'Human Development Report (UNDP, 1992) e recentemente adattato da Oxfam (2023; Fig. 3): il 10% della popolazione più ricca è responsabile del 50% delle emissioni globali di carbonio, mentre il 50% delle persone più povere è responsabile solo dell'8%.

Hickel et alii (2022) hanno valutato i contributi nazionali al collasso dell'ecosistema in relazione all'estrazione dei combustibili fossili, evidenziando il concetto di 'quote equilibrate' di utilizzo delle risorse 'basate su principi di equità e sostenibilità' e sostenendo la necessità di un drammatico cambio di paradigma: l'1% più ricco del mondo deve ridurre il suo consumo di carbonio e l'uso delle risorse di circa il 96% affinché il 50% più povero possa aumentare le proprie emissioni pro capite di circa tre volte (UNEP, 2020). Analogamente Hickel et alii (2022) hanno rilevato come i Paesi ad alto reddito debbano ridurre l'uso di risorse mediamente del 70%; una tale stima evidenzia la necessità di una strategia globale di riduzione e riequilibrio del consumo di risorse per affrontare i cambiamenti climatici, la perdita di biodiversità e le disuguaglianze, chiamando il settore edilizio, tra i più energivori, a svolgere un ruolo di primo piano (Ness, 2022b).

Rilevanza dell'aumento di superficie | Gli edifici e le infrastrutture sono responsabili di circa il 40% delle emissioni globali, del 50% dell'estrazione di risorse e del 40% dei rifiuti e le emissioni annue legate alla costruzione di edifici stanno inesorabilmente aumentando. Nel 2016 hanno raggiunto i

3,7 Gt di CO₂eq, con una incidenza crescente del carbonio e dell'energia 'incorporati' nelle fasi di estrazione, produzione di materiali e realizzazione dell'opera: oltre alle emissioni 'operative' (circa il 28%), esse attualmente rappresentano circa il 12% del totale durante il ciclo di vita di un edificio (Falk et alii, 2020). È stato inoltre rilevato che con una maggiore 'decarbonizzazione' delle fonti energetiche la quota di energia e di emissioni incorporate tende ad aumentare; ad esempio in Australia si prevede che essa costituirà l'85% del totale delle emissioni di CO₂ entro il 2050 (GBCA e thinkstep anz, 2021). In parole povere, secondo Barber (2023, p. 2) 'gli edifici sono più efficienti, ma sono anche più grandi e più numerosi'.

La United Nations Environment Programme e la Global Alliance for Buildings and Construction (UNEP, 2022) hanno segnalato che le emissioni legate all'aumento delle superfici costruite hanno superato i vantaggi derivanti dall'aumento dell'uso di energie rinnovabili e dall'efficienza energetica. Tale dato è stato confermato dall'IPCC (2022, chapter 9.4), mentre Falk et alii (2020) hanno rilevato, su base annua, che mentre il consumo di energia per metro quadro si sta riducendo di circa l'1,5%, la superficie costruita è aumentata di circa il 2,3%. Nonostante ciò il mondo delle costruzioni continua a puntare su innovazione tecnologica ed efficienza, pianificando una «[...] double global building floor area by 2060 by adding 230 billion square metres of new floor area, the equivalent of adding an entire New York City every 34 days» (Architecture 2030, 2021; Fig. 4). Purtroppo tali proiezioni sono raramente messe in discussione e senza un cambio di rotta facilmente diventeranno realtà.

Anche un'analisi superficiale delle implicazioni di una crescita così massiccia deve suscitare preoccupazione rispetto al sempre maggiore consumo di carbonio, alla distruzione degli habitat naturali (Fig. 5) e a una distribuzione tutt'altro che equa della crescita (Fig. 6), spesso giustificati come necessari per rispondere all'incremento dell'urbanizzazione e con affermazioni secondo cui «[...] 70 per cent of buildings standing in Africa by 2040 have not yet been built» (Oxford Economics, 2021, p. 39); d'altra parte, gli autori del report Future of Construction considerano l'urbanizzazione, che si prevede accelererà la crescita dei mercati emergenti, un'opportunità per il mondo capitalista, prevedendo una crescita simile anche negli Stati Uniti. In modo allarmante il settore continua a sostenere che gli obblighi climatici possono essere rispettati continuando a costruire nuovi edifici: «[...] we won't stop creating buildings, but we can pivot, make them part of the solution» (Himes, 2021), facendo affidamento sui cosiddetti materiali a basso contenuto di carbonio, a base biologica e fotosintetici (Ness, 2022a).

Sfidare tali mentalità e pratiche, ottenere sostegno e creare slancio per il cambiamento è importante non solo per rispettare gli accordi internazionali sul clima, ma anche per arrestare la perdita di biodiversità e l'incremento delle disuguaglianze. Le previsioni citate sono state elaborate dall'UN DESA (2018) e da altre Organizzazioni in un periodo in cui si accettava la necessità di una crescita economica continua e incrementale; tuttavia il clima è cambiato e questo approccio deve essere messo in discussione: la conferenza dal titolo Beyond Growth 2023, tenuta nel maggio

2023, 'smentisce' le previsioni di crescita prodotte dalla 'modellazione climatica integrata' (Sciences Po, 2023). È quindi indispensabile rivedere e mettere in discussione le previsioni di un aumento elevato della superficie costruita. Ma qual è la reale domanda di servizi, alloggi e infrastrutture? Dove si concentrerà? Può essere soddisfatta da soluzioni non edilizie, come servizi digitali e simili?

Obiettivi, proposta e metodologia | Affrontare le 'questioni' del nostro tempo con un approccio 'sistemico critico' (Irwin, 2018) e mettere in discussione l'eccessivo consumo di risorse (Ness, 2021b) richiede una drastica rottura di pensiero e politiche consolidati. Possiamo trovare ispirazione nelle arti e nel lavoro dell'artista del vetro Liam Fleming che, nei suoi 'Vasi Transitori' (Fig. 7), esprime il concetto di 'rinuncia al controllo', espandendo i confini della scultura del vetro: «[...] flat, curved, angled, and asymmetric Pillar Vase is a reference to the support structures and angles of the built environment»². Allo stesso modo la 'innovability' può aprire orizzonti più ampi promuovendo il cosiddetto 'olismo creativo' piuttosto che il riduzionismo; secondo Jackson (2006) infatti esso presenta molti vantaggi rispetto ai tradizionali approcci riduzionistici nell'affrontare la complessità, il cambiamento e la diversità e può far emergere punti di vista e convinzioni divergenti su situazioni problematiche complesse, consentendo di apprezzare appieno 'visioni del mondo' alternative e le possibilità di cambiamento che esse offrono.

Parallelamente Caffo (2023) ha messo in discussione la nostra visione della realtà, evidenziando i nostri pregiudizi più nascosti, mentre il teorico dei sistemi Ackoff (cit. in Wardman, 2011) ha rilevato che la realtà non è bidimensionale, ma multidimensionale e ogni parte di essa da una visione diversa rispetto a confini e prospettive che possono essere letti alla macro scala, attraverso la sintesi, o alla scala del dettaglio, attraverso l'analisi (Ackoff, 2004). Una tale esplorazione creativa può essere supportata e potenziata dalle 'reti relazionali' (Floridi, 2020) e dalle tecnologie digitali che aprono possibilità finora inedite.

In quest'ottica si intende sviluppare e testare una proposta finalizzata a un 'cambio di paradigma' nel pensiero e negli approcci all'architettura e all'ambiente costruito più appropriato all'attuale epoca del 'superamento del limite'³ e persino della 'fine della specie' (Caffo, 2023).

In primo luogo, con uno 'sguardo' a livello di sistemi più ampi, vengono esaminate le attuali proiezioni di aumento della superficie costruita e le strategie per affrontare questa importante sfida; la proposizione 1) è che 'le esigenze di servizi nel mondo possono essere soddisfatte con un minor numero di costruzioni, limitando le superfici dei Paesi industrializzati per consentire una crescita maggiore a quelli in via di sviluppo'. In secondo luogo, concentrando l'attenzione su architetti e progettisti, vengono esaminati approcci e pratiche del settore industriale che hanno un potenziale rispetto al risparmio di risorse e sono più eque; la proposizione 2) è che 'la digitalizzazione e altre forme di innovability possono essere utilizzate per fornire servizi a privati e aziende con una minore necessità di superficie'. Infine si riporta l'attuale corrente di pensiero che promuove una maggiore crescita edilizia per comprenderne i principi e le forze che la guidano.



Fig. 1 | Sunraysia Solar Farm, Australia (credit: UNSW, Sydney).

La frenesia edilizia | Vi è la convinzione diffusa che il settore edilizio e immobiliare possa continuare a crescere nel consumo di risorse materiali «[...] in the midst of the major building binge in human history» (Himes, 2021), rispettando al contempo l'obiettivo delle emissioni 'zero' entro il 2050 attraverso la 'decarbonizzazione dell'energia e l'efficienza energetica'. Nel frattempo, al di là delle emissioni generate, l'estrazione e l'uso dei materiali sono responsabili di oltre il 90% della perdita di biodiversità e dello stress idrico (Haigh, 2023). Sebbene gli edifici e le infrastrutture svolgano un ruolo cruciale nell'affrontare le diverse sfide legate al cambiamento climatico, alla perdita di biodiversità e alla disuguaglianza, le emissioni annuali del settore sono in costante aumento e nel 2016 hanno raggiunto 3,7 Gt CO₂eq (Falk et alii, 2020); inoltre, come hanno rilevato Deetman et alii (2020), la domanda di materiali da costruzione continuerà ad aumentare nella maggior parte delle regioni, anche nei Paesi sviluppati, dove la crescita della popolazione è relativamente stabile.

L'industria delle costruzioni prosegue instancabilmente e senza freni nella sua corsa verso una crescita indiscriminata, convinta che possa essere comunque 'sostenibile' grazie a materiali bio e a basso contenuto di carbonio e alla 'tecnologie pulite' (Ness, 2021b): il mantra delle 'zero emissioni di carbonio entro il 2050' manca di un senso di urgenza, viene visto come una continuazione delle pratiche 'business as usual', grazie a false compensazioni di carbonio, e di solito non riesce a raggiungere una riduzione assoluta delle emissioni, soprattutto di quelle incorporate. A questo proposito il Green Building Council degli Stati Uniti ha affermato, in modo fuorviante, che le emissioni assolute degli edifici commerciali statunitensi sono diminuite rispetto ai livelli del 1990, nonostante la superficie calpestabile sia aumentata del 55% nello stesso periodo (USGBC, 2023; Arehart et alii, 2021).

Purtroppo non sempre vengono posti limiti alle dimensioni e alla superficie dei nuovi edifici, mentre un numero sempre maggiore di grattacieli è

promosso come segno di prosperità e sostenibilità, grazie anche alle certificazioni ambientali più 'verdi' (Ness, 2021b). È il caso del progetto, depositato presso la South Australian Planning Commission, per una torre da 400 milioni di dollari, 37 piani e 183 metri di altezza, che ospita un hotel di lusso e uffici a ridosso di edificio storico, parte del quale dovrebbe essere demolito. L'edificio, che una volta autorizzato sarà il più alto della Città di Adelaide (Fig. 8), riflette la strategia del Consiglio Comunale e del Governo del Sud Australia di rispondere alle discutibili previsioni di crescita demografica e all'attuale crisi abitativa attraverso un significativo aumento delle superfici costruite. Tale strategia tuttavia confligge con l'urgente necessità di mitigare il cambiamento climatico e non prende in esame l'impatto del carbonio incarnato (Ness and Xing, 2023).

L'attenzione è prevalentemente rivolta all'energia e alle emissioni operative: il Rapporto State of Climate Action (Boehm et alii, 2023) raccomanda di ridurre l'emissione di carbonio a 13-16 kg CO₂eq per metro quadro, come strategia principale di un approccio su più fronti che prevede il miglioramento dell'efficienza energetica, la riqualificazione energetica del patrimonio edilizio esistente, la garanzia che i nuovi edifici siano a zero emissioni in fase di esercizio e la sostituzione di materiali con altri a basso o nullo contenuto di carbonio; tuttavia, al momento in cui si scrive, è improbabile che tali approcci siano sufficienti.

Riduzione della domanda di risorse: 'the elephant in the room' | Secondo Friends of the Earth Europe (2022), «Demand-side measures that seek to address and remedy the inequitable overconsumption of natural resources are the elephant in the EU-policy room» e «Our current system extracts, produces, consumes, and wastes resources much faster than Earth can regenerate»: la riduzione assoluta della domanda e del consumo di risorse rimane un punto cieco nelle strategie nazionali per il clima e l'energia, specialmente se riferite al settore delle costruzioni. Per superare que-

sta criticità è necessario mettere in discussione la domanda di risorse rivalutando cosa si deve costruire, se è necessario e per chi e dove, tutte questioni che possono prefigurare un cambiamento epocale per le proiezioni sulla realizzazione di nuovi edifici e infrastrutture (Ness, 2022a; Tab. 1).

Se nel Report Mitigation of Climate Change l'IPCC (2022) fa notare che per migliorare il proprio benessere le persone richiedono servizi e non energia primaria o risorse in sé, nel Report dell'anno successivo (IPCC, 2023) rileva che misure incentrate sulla domanda e nuove modalità di erogazione di servizi possono ridurre le emissioni nei settori dell'edilizia, dei trasporti terrestri e dell'agricoltura di una percentuale variabile tra il 40 e il 70% rispetto agli scenari di riferimento, pur riconoscendo che alcune regioni del mondo e particolari gruppi socio-economici richiedono energia e risorse aggiuntive; in particolare nel solo settore edilizio la mitigazione della domanda ha il potenziale di ridurre le emissioni del 66% entro il 2050, oltre che sostenere un consumo e una produzione responsabili (SDG 12) e il raggiungimento di altri SDGs. Soluzioni finalizzate alla riduzione della domanda di energia e risorse non rinnovabili possono quindi consentire di ottenere comunque un elevato benessere (Sugiyama et alii, 2024), come confermato anche dalla Circle Economy Foundation (2024) secondo la quale potremmo soddisfare i nostri bisogni con un terzo di materiali in meno rispetto a quelli utilizzati oggi.

Il riconoscimento dell'importante ruolo delle politiche sulla 'sufficienza' nel limitare la domanda del settore edilizio è stato introdotto dall'IPCC (2022, pp. 1008, 955): «[...] a set of measures and daily practices that avoid demand for energy, materials, land and water while enabling well-being for all within planetary boundaries. [...] Implementing sufficiency measures that limit growth in floor area per capita, particularly in developed regions, reduced the dependence of climate mitigation on technological solution [...] at a global level, up to 17% of mitigation potential could be captured by 2050 through sufficiency interventions».

Nel perseguire il benessere per tutti il concetto di 'sufficienza' riconosce che buona parte della popolazione mondiale non dispone di risorse sufficienti, mentre altri consumano più risorse del necessario; questa duplice condizione si traduce nell'imperativo di 'ridurre e condividere' (Kitzes et alii, 2008), già promosso da Schmidt-Bleek (Fig. 9) e dai suoi colleghi del Fattore 10 che sostenevano la necessità di ridurre e razionalizzare il consumo di risorse (Schmidt-Bleek, 1993; Ness, 2022b). Nella sostanza, «[...] sufficiency addresses the issue of a fair consumption of space and resources» (IPCC, 2022, p. 955).

Se da un lato l'economia circolare mira a massimizzare il valore dalle risorse mantenendole in uso, ad esempio attraverso il riuso adattivo di edifici e infrastrutture, dall'altro è largamente inefficace se la domanda di nuove costruzioni è in continua crescita (Circle Economy Foundation, 2024); la 'sufficienza' si fonda prevalentemente sul principio di riduzione della domanda e la combinazione degli approcci di 'sufficienza' e circolarità può aumentare l'efficacia complessiva delle azioni (Saheb, 2021); le strategie per mitigare la domanda, la 'dematerializzazione' e l'innovazione dei servizi sono aspetti che caratterizzano la 'sufficienza'.

Sebbene la 'sufficienza' possa rappresentare un anatema per coloro che perseguono una maggiore crescita con lo sfruttamento di risorse naturali, l'Associazione négaWatt (2023, p. 3) ha rilevato che essa non implica necessariamente un declino economico, ma può avere un impatto positivo sull'occupazione: «[...] an energy transition based on sufficiency, efficiency and renewables would provide economic, social, and environmental benefits»: le politiche improntate alla 'sufficienza' hanno quindi il potenziale per creare un'importante 'svolta' nel settore delle costruzioni, 'cambiando il rapporto con lo spazio', modificando l'approccio allo sviluppo e prefigurando una 'nuova umanità' (Ness, 2023; Caffo, 2023).

La 'sufficienza' può essere il motore di una 'Buildings Breakthrough'?

Durante la COP28 negli Emirati Arabi Uniti è stata lanciata la cosiddetta 'Buildings Breakthrough' (letteralmente, 'svolta in edilizia'), un'iniziativa che si aggiunge alla Breakthrough Agenda introdotta alla precedente COP26 di Glasgow. L'Agenda mira a rafforzare la collaborazione internazionale per rendere le tecnologie verdi e le soluzioni sostenibili l'opzione più conveniente, accessibile e attraente nei settori chiave e in tutte le regioni del mondo entro il 2030.

Tuttavia, secondo il Report Breakthrough Agenda (IEA, 2023), il settore dell'edilizia non sta procedendo come dovrebbe verso l'obiettivo di zero emissioni del 2050, registrando una crescita media dell'1% all'anno dal 2015; nonostante si sia verificata una riduzione del 6% nell'intensità energetica finale nello stesso periodo, questo progresso è stato ampiamente superato dalla crescita della superficie: «Energy intensity needs to fall a further 35% by 2030 to be aligned with the IEA Net Zero Scenario [e per essere] net zero by 2050, all new buildings need to be net zero from 2030, up from less than 5% of new buildings today». Come altre Agende rivoluzionarie su trasporti stradali, acciaio, cemento e calcestruzzo, la Breakthrough degli edifici si concentra attualmente sulle tecnologie pulite e sull'efficienza, impegnandosi a triplicare l'uso delle energie rinnovabili e a raddoppiare l'efficienza energetica entro il 2030, quindi attraverso un potenziamento di strategie che in passato hanno fallito (Ness, 2023; Tab. 2).

Per limitare e redistribuire la crescita con una maggiore attenzione alla domanda il Breakthrough

Agenda Report ha introdotto il concetto di 'sufficienza': «[...] sufficiency measures must complement the role played by efficiency, behaviour and renewables in the mitigation of emissions [...] with implementation efforts led by developed countries which have a larger floor area to repurpose, and less pressure from population growth and less pressure from population growth and urbanisation» (IEA, 2023, pp. 115, 116). Inoltre, per favorire comprensione e finalità dell'approccio basato sulla 'sufficienza' all'interno del settore, i Paesi dovrebbero elaborare definizioni comuni, stabilire metriche di monitoraggio (ad esempio, la crescita della superficie pro capite) condivise e identificare politiche di 'sufficienza' efficaci all'interno del settore.

Ma quali sono le strategie 'top-down' e 'bottom-up' per limitare l'aumento di nuove superfici e che favorisce la comprensione e l'applicazione del principio di 'sufficienza'? A questo proposito è da rilevare che i budget di carbonio possono non solo limitare il 'consumo di carbonio', ma anche fungere da delega / procura (compensazione) per i budget dei materiali (EEB, 2020).

Budget di carbonio | Diversi studi hanno dimostrato che i 'budget di carbonio' possono influenzare e riequilibrare la distribuzione della crescita edilizia globale (Habert et alii, 2020; Hoxha et alii, 2020). Secondo l'IPCC (2022, p. 955), «The remaining carbon budget, and its normative target for distributional equity, is the upper limit of sufficiency» e può essere assegnato a Paesi, città e settori ma anche frazionato per singoli edifici. In un momento in cui l'attenzione dell'industria è rivolta, senza tener conto del quadro generale, principalmente a requisiti 'bottom-up' per i materiali a base biologica e naturali, questo meccanismo può fornire un freno generalizzato all'aumento di superficie, allo stato attuale incontrollabile.

L'equa distribuzione delle risorse e la 'giustizia climatica' sono principi fondamentali per l'assegnazione dei budget di carbonio (Alcaraz et alii, 2018) e nella ricerca del massimo valore sociale per l'allocazione delle risorse e delle emissioni di carbonio la nozione di 'valore d'uso' offre una possibile soluzione. Secondo la teoria della termodinamica, i valori d'uso sono definiti come materiali o energia a bassa entropia, basati sulla capacità di soddisfare i bisogni dell'uomo (Geor-

gescu-Roegen, 1973); in questa prospettiva l'edilizia sociale e a prezzi accessibili dovrebbe avere la precedenza rispetto all'edilizia realizzata a fini speculativi (Ness, 2022a), come illustrato nella Figura 10.

Den et alii (2023) hanno compiuto un importante passo avanti nell'identificare, per conto di Science Based Targets, la quota appropriata di emissioni incarnate negli edifici rispetto all'intero bilancio del carbonio: utilizzando i dati sullo sviluppo complessivo della superficie globale forniti da AIE (2021), CRREM (2023) e Deetman et alii (2020), gli studiosi hanno proposto un percorso di decarbonizzazione per le diverse tipologie edilizie al metro quadro, in linea con lo scenario IPCC di 1,5 °C. Mentre AIE e CRREM prevedono una crescita costante delle superfici edificate, soprattutto nei mercati in via di sviluppo, il percorso di decarbonizzazione sviluppato da Den et alii (2023, p. 19) «[...] relies on slowing floor area growth and building construction in developed economies to a major extent and to a considerable extent in developing economies as well». Analogamente agli studi di Deetman et alii (2020), Den et alii (2023, p. 10) hanno stimato un aumento dei tassi di crescita delle superfici per uffici e commercio al dettaglio, a fronte di una leggera diminuzione per il settore residenziale, evidenziando che «[...] the projected high growth in floor area results in steep intensity reductions to stay within the global carbon budget».

In Danimarca la Reduction Roadmap per le emissioni di CO₂, basata su dati scientifici, stabilisce l'obiettivo del 96% per il settore edilizio raggiungibile entro il 2030 solo attraverso una serie di azioni tra cui la riduzione delle nuove superfici calpestabili: le emissioni di carbonio dovrebbero essere ridotte da 9,6 a 1,7 kg CO₂eq per metro quadro all'anno, riducendo contemporaneamente il tasso di costruzione da 3.072.000 a 770.000 mq all'anno (EFFEKT, MOE e CEBRA, 2022; Fig. 11). È evidente che esiste un notevole gap tra le ambizioni della Reduction Roadmap e gli altri studi. Secondo LETI (2020, p. 6), «Over the next 40 years, the world expects to build 230 billion square metres of new construction [...] so we must act now to meet the challenge of building net zero developments». Mentre le 'azioni primarie' prevedono il 'costruire meno' e la rivalutazione della necessità di realizzare nuove costruzioni per soddi-



Fig. 2 | Champagne glass logo (source: UNDP, 1992).

Fig. 3 | Global income groups and associated consumption emissions in 2019 (source: Oxfam, 2023).

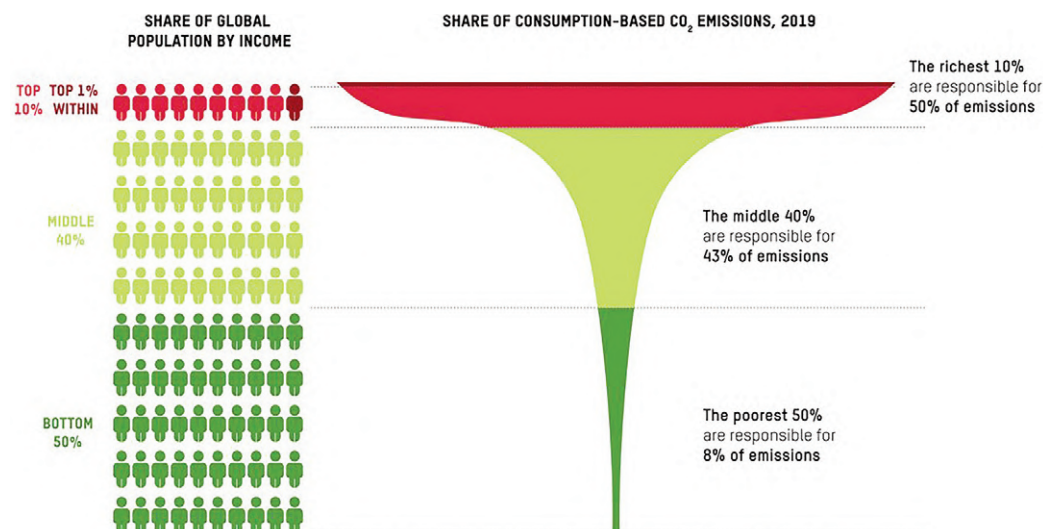




Fig. 4 | 44-storey tower in Brooklyn, New York City's first all-electric skyscraper (credit: P. Bendov, 2024).



Fig. 5 | Yujiafu Financial District in Tianjin (credit: O. Giebel, 2014)

sfare le esigenze della popolazione, la tabella di marcia lancia un messaggio, purtroppo non ascoltato, sulla necessità di ridurre drasticamente le nuove costruzioni nelle società più industrializzate.

L'efficacia dei bilanci di carbonio nel limitare le nuove costruzioni dipende quindi in larga misura dalla capacità di misurare il carbonio incorporato, soprattutto nelle fasi di avvio, pianificazione e approvazione dei potenziali progetti.

Impatto del carbonio incorporato | Il carbonio incorporato legato prevalentemente alla fase di costruzione rappresenta la parte preponderante del carbonio incorporato totale (Le Den et alii, 2023) ed è proprio qui che si dovrebbero concentrare le energie per ottenere risparmi significativi in termini sia di consumo di carbonio sia di risorse, senza dimenticare l'impatto sul costo complessivo. Attualmente sono in fase di sviluppo gli standard per quantificare il carbonio incorporato (un esempio è lo standard britannico Net Zero Carbon Buildings) e ci si impegna per la riduzione del carbonio nell'intero ciclo di vita degli edifici: come riportato dallo standard professionale RICS⁴ (Royal Institution of Chartered Surveyors), il calcolo del carbonio nell'intero ciclo di vita include il carbonio operativo, il carbonio incorporato e quello generato dagli utenti durante la fase di esercizio di un manufatto edilizio; in particolare la RICS pone una particolare attenzione alla fase 'upfront carbon', che include le attività non fisiche pre-costruzione.

Parallelamente agli studi sul carbonio incorporato negli edifici Habert et alii (2023) hanno dimostrato che sviluppo urbano e infrastrutture giocano un ruolo cruciale nella domanda energetica pro-

capite e nelle emissioni di CO₂, mentre Krausmann, Wiedenhofer e Haberl (2020, p. 1) hanno verificato che «[...] providing essential services with a considerably lower level of material stocks could contribute to large reductions in global resource use and GHG emissions». Entrambe le ricerche mettono in evidenza l'importanza del consumo di materiali negli edifici e in ambito urbano, sottolineando il ruolo chiave della riduzione del carbonio incorporato nel contrastare il consumo di carbonio nelle città. C40 Cities (2018) ha evidenziato che se si considera il consumo di carbonio (compreso quello incorporato associato ai prodotti importati) le emissioni territoriali aumentano di oltre il 60%.

Gran parte degli sforzi per ridurre il carbonio incorporato è concentrata sui materiali, e in particolare sono rivolti a 'decarbonizzare' le industrie che producono materiali ad alta intensità di carbonio attraverso l'individuazione di parametri di riferimento per metro quadrato di costruzione. Un tale approccio, incentrato sulla 'efficienza' piuttosto che sulla 'sufficienza', basandosi su obiettivi pro capite non riesce a limitare le dimensioni complessive degli edifici; ciò che serve è invece una visione strategica e sistemica, di tipo 'top-down' nella fase di pre-costruzione, come proposto dalla RICS, che prenda in esame nuovi modi per evitare e ridurre le emissioni di carbonio incorporato, in primis limitando le nuove costruzioni e riusando quelle esistenti.

Come sostenuto da Horup et alii (2022, p. 7), «[...] Budget-based targets set at a building level [...] constitute a strong signal for the demand side (investors, owners) and would subsequently be passed down the value chain (designers, produc-

ers)»; inoltre gli stessi ricercatori non mancano di evidenziare che per raggiungere gli obiettivi dell'Accordo di Parigi è necessaria una 'trasformazione profonda' del settore, con politiche e azioni volte a ridurre nuova superficie costruita.

Innovability nell'Architettura e nel Design |

Affrontare la drastica riduzione della domanda e del consumo di risorse attraverso la 'sufficienza' richiede innanzitutto la consapevolezza che potremmo già trovarci in pieno Antropocene (Steffen et alii, 2015) e dover affrontare da subito ciò che Barber (2023) definisce 'architecture of the overshoot', ovvero l'architettura del superamento del limite. Un approccio minimalista, sufficiente e intelligente alla progettazione degli edifici e dei servizi potrebbe modificare radicalmente la figura di architetti e designer, aprendo al contempo a nuove opportunità di lavoro, creative e alternative. Secondo Falk et alii (2020, p. 83) per dimezzare le emissioni entro il 2030 occorre adottare una serie di iniziative correlate: «[...] First, one should try to reduce the total need for building space, then improve the way space is used, then reconstruct a building to better adapt it to its needs, and only as a fourth and last resort construct a new building» (Fig. 12). Il Circular Buildings Toolkit (Arup and EMF, n.d.) individua quale azione strategica il 'non costruire nulla – rifiutare la costruzione di nuove strutture non necessarie': «[...] a deep and thoughtful interrogation of the project brief against the client's needs is needed to decide whether a new building is the best way to meet those needs»; una tale strategia mira a evitare il consumo intensivo di materiali per le nuove costruzioni.



Figg. 6, 7 | Skyscrapers juxtaposed with informal settlement in India (credit: G. Taylor, 2015); Transitory Form #3, mould-blown glass, fused and slumped (source: liamfleming.com).

Fig. 8 | Proposal for Adelaide's tallest building, 254 North Terrace (credit: SA Planning Commission and Walter Brooke Architects).

L'esplorazione di possibili alternative per soddisfare, attraverso i servizi, i bisogni degli utenti con un minore 'consumo di carbonio' potrebbe essere facilitata da una più stretta interlocuzione con i committenti, che consentirebbe una migliore comprensione delle loro esigenze, ma anche un'analisi più mirata nella fase di progettazione e costruzione per ridurre costi e impatti sul clima (Hurst, 2023). Con il riuso adattivo e la gestione di beni e spazi esistenti, nonostante la quantità di progetti ex-novo è destinata a diminuire, potrebbero emergere soluzioni più creative ed economicamente vantaggiose (Ness, 2021b). In termini di politiche e incentivi per il settore anche i criteri di assegnazione delle 'certificazione verdi' dovrebbero subire una profonda rivisitazione, dando premialità a edifici 'di modesta estensione' e prendendo a esempio le opere degli architetti Lacaton e Vassal o la struttura temporanea di Arup per il People's Pavilion di Eindhoven (Ness, 2021a; Figg. 13, 14).

Durante il primo International Sufficiency Summit⁵ Inês Costa, partner associato di Deloitte, ha sottolineato che le imprese e l'industria dovrebbero considerare le strategie di 'sufficienza' come 'intelligenti' perché in grado di stimolare l'innovazione, nel rispetto delle leggi della termodinamica: «[...] We should stop thinking of planetary limits as constraints, but rather as guidelines, frontier conditions and starting points». In questo contesto la nozione di 'innovability' ci deve invitare a mettere in discussione le attuali pratiche e ad esplorare creativamente nuove possibilità.

In risposta alla pandemia da Covid-19 sono stati sviluppati, ad esempio, nuovi modelli di lavoro a distanza dimostrando che molti servizi e

attività digitalizzate non richiedono necessariamente uno spazio fisico: è il caso degli istituti di credito e degli uffici postali che hanno ridotto il numero di filiali e digitalizzato i servizi (Falk et alii, 2020) o ancora della didattica, della telemedicina, dell'intrattenimento o della vendita al dettaglio così come di altri servizi espletati online con una contrazione dell'utilizzo degli spazi fisici o infine dei poli di innovazione che, se in passato occupavano spazi fisici, ora sono spesso 'sufficienti' ecosistemi digitali.

Nel 2021 l'Unione Europea ha promosso il Nuovo Bauhaus come parte del Green Deal, con l'obiettivo di stimolare modalità creative per soddisfare i bisogni attraverso un uso meno intensivo dei materiali (European Commission, 2021; Ness, 2021a); dopo numerose consultazioni su una possibile missione di rigenerazione dei quartieri la New EU Bauhaus Academy Alliance ha deciso di avviare la formazione su 'soluzioni circolari bio-based' (European Commission, 2023). Tuttavia, sebbene rappresenti un passo avanti verso la sostenibilità, questa strategia rimane focalizzata sui materiali ed è improbabile che riesca da sola a limitare l'aumento complessivo di superficie costruita. È invece giunto il momento per il Nuovo Bauhaus, per gli architetti e per i ricercatori di cogliere l'opportunità offerta dalla 'innovability' e dalle 'città intelligenti' di guidare il cambiamento trasformativo necessario per affrontare la 'architecture of the overshoot'.

Discussione | Nonostante il Programma delle Nazioni Unite per l'Ambiente (UNEP, 2022) e l'Agenzia Internazionale dell'Energia (IEA, 2021) conti-

nuino a enfatizzare l'importanza dell'energia prodotta da fonti rinnovabili per raggiungere l'obiettivo di riduzione delle emissioni di CO₂ entro il 2050, si prevede un significativo aumento della superficie costruita (Fig. 15), mentre gli studi condotti da Boehm et alii (2023), CRREM (2023) e Deetman et alii (2020) hanno dimostrato che un percorso di decarbonizzazione richiede anche un rallentamento dell'aumento della superficie costruita, soprattutto nelle regioni del Nord del mondo. Le proiezioni al 2050 stimano una crescita del 150% del patrimonio edilizio per uffici e attività commerciali e del 50% per quello residenziale, il che richiederebbe una sensibile riduzione dell'intensità energetica al fine di rimanere all'interno dei budget di carbonio (Deetman et alii, 2020).

Probabilmente la costruzione di nuovi immobili commerciali e di altre tipologie con un 'valore d'uso' non strettamente necessario al soddisfacimento dei bisogni dell'uomo dovrebbe essere drasticamente limitata, soprattutto in considerazione della disponibilità di numerose aree da riqualificare e della capacità della digitalizzazione di fornire molti servizi a distanza. La Reduction Roadmap della Danimarca evidenzia che per raggiungere l'obiettivo di riduzione del 96% delle emissioni bisogna intervenire anche limitando la nuova superficie costruita (EFFEKT, MOE and CEBRA, 2022), con particolare riferimento a quella commerciale che ha un 'valore d'uso' minore rispetto a quella residenziale.

L'introduzione di politiche e modelli di 'sufficienza', parallelamente alle diverse pratiche ormai consolidate di impronta circolare, ha il potenziale per ridurre e riequilibrare la domanda di risorse,

in modo equo, entro i limiti del pianeta e a supporto dei diversi SDG. Come evidenziato da O'Neill et alii (2018, p. 6), «[...] resource use could be reduced significantly in wealthy countries without affecting social outcomes, while also achieving social outcomes, while also achieving a more equitable distribution among countries».

L'esperienza francese maturata su approcci basati sulla 'sufficienza', sull'uso di energie rinnovabili e sulla efficienza energetica ha prodotto anche benefici economici, sociali e ambientali, secondo lo slogan 'consumare meno per vivere meglio' (négaWatt Association, 2023). Dal punto di vista architettonico e progettuale le strategie di 'sufficienza', basate sui bilanci di carbonio, possono limitare le nuove costruzioni, ma possono anche stimolare la 'innovability' con azioni di riuso adattivo del patrimonio esistente attraverso una più proficua interlocuzione con i committenti nella ricerca di soluzioni a minore intensità di materiali

e di carbonio, come nel caso dello Zeitz Museum di Città del Capo (Fig. 16).

Il Buildings and Climate Global Forum, tenutosi a Parigi nel marzo 2024, con il governo francese – leader nelle politiche di 'sufficienza' – tra i principali organizzatori, ha fornito un'opportunità unica per evidenziare il ruolo della 'sufficienza' nel dare soluzioni a specifiche esigenze e sfidare uno scenario secondo il quale «[...] buildings are essential for climate change mitigation and [...] the global buildings surface should double by 2060»⁶. Il Forum ha previsto una sessione dedicata alla 'sufficienza' lanciando diversi appelli ai governi partecipanti: dare priorità alla 'sufficienza' nelle politiche pubbliche di decarbonizzazione del settore edilizio e nella cooperazione internazionale; riconsiderare gli scenari di crescita al 2050 dell'ambiente costruito per garantirne la compatibilità con le risorse limitate; considerare il carbonio della fase pre-costruzione (upfront) al pari del carbonio incorporato.

Sebbene la 'sufficienza' sia stata solo menzionata nella Dichiarazione di Chaillot⁷ del Forum, il suo inserimento nel documento rappresenta un 'passo avanti' per un riconoscimento all'interno delle politiche internazionali su clima, giustizia sociale e risorse non rinnovabili.

Conclusioni | Sebbene diverse Organizzazioni internazionali come il Programma delle Nazioni Unite per l'Ambiente (UNEP, 2022) sottolineino l'importanza delle energie rinnovabili e dell'efficienza energetica nella lotta al cambiamento climatico, il saggio ha messo in luce l'inefficacia di tale approccio quando non affronta contemporaneamente il problema dell'aumento della superficie edificata e del consumo di risorse.

Con la Proposizione 1), avvalendosi del pensiero creativo dei sistemi e della 'innovability', è stato introdotto il concetto di 'sufficienza', per evitare o ridurre l'aumento di nuova superficie edificata e definire le priorità della domanda nel settore delle costruzioni. L'attenzione crescente al carbonio incarnato ha portato a considerare modalità di riduzione e redistribuzione dell'aumento della superficie globale, utilizzando bilanci di carbonio e assegnazioni di superficie in relazione alle diverse tipologie edilizie. In relazione alla Proposizione 2), e sempre avvalendosi del concetto di 'innovability', è stato dimostrato che, se da un lato l'emergenza climatica rappresenta una sfida globale piuttosto impegnativa, dall'altro crea opportunità per architetti e designer che possono giocare un ruolo cruciale nell'affrontare le sfide della 'architecture of the overshoot', sviluppando innovazione e creando nuove prospettive di impresa grazie alla digitalizzazione.

Una sfida impegnativa e urgente è rappresentata dal cambio significativo delle politiche e degli approcci promossi dalle Organizzazioni internazionali come l'UNEP e la Global Alliance for Buildings and Construction, così come delle pratiche degli operatori del settore. Sono inoltre necessarie ulteriori ricerche per valutare la necessità di nuove edificazioni e le relative proiezioni di crescita che allo stato attuale implicano un raddoppio della domanda globale di materie prime entro il 2060, soprattutto nelle società più ricche.

Altri studi dovrebbero poi portare all'assegnazione del budget di carbonio per ciascun Paese, città e settore, in relazione allo storico delle emissioni e delle esigenze locali. Il carbonio incarnato e il consumo di risorse di potenziali nuovi progetti dovrebbero essere valutati all'interno di questi bilanci e di questo quadro, dando priorità a interventi con un maggiore 'valore d'uso' sociale. Parallelamente occorrerà promuovere buone pratiche capaci di dimostrare che, pur limitando le nuove costruzioni e il consumo di risorse, è possibile realizzare modelli di impresa redditizi con un aumento dell'occupazione, ispirandosi a quelle esperienze francesi che hanno messo in campo politiche e approcci improntati alla 'sufficienza'.

Il presente saggio, che ha una finalità 'esplorativa', ha messo in evidenza alcune strategie per affrontare la transizione richiesta al settore edilizio rispetto all'emergenza climatica, alla perdita di biodiversità e alla disuguaglianza, dimostrando che la decarbonizzazione degli edifici non è sufficiente se non si tiene conto del consumo di risorse e del carbonio incarnato associati alla continua espansione edilizia, soprattutto nelle società cosiddette

No.	Key topics	References
a.	Absolute reduction of resource demand a blindspot in climate policies	Friends of Earth Europe (2022)
b.	Over-dependence on technological solutions to climate mitigation	Ness (2023)
c.	Question demand - what needs to be built (if at all), for whom, and where?	Ness (2022a)
d.	Can reduce emissions by 40-70% by 2050, 66% in case of buildings	IPCC (2023)
e.	Role of sufficiency policies in avoiding demand in buildings sector	IPCC (2022)
f.	Implement sufficiency measures that limit growth in floor area per cap	IPCC (2022)
g.	Many lack sufficient resources, while others consume too much: 'shrink and share'	Kitzes et alii (2008) Schmidt-Bleek (1993)
h.	While sufficiency can be paired with circularity, it should come first	Saheb (2021)
i.	Sufficiency does not necessarily means economic decline, may generate jobs	négaWatt Association (2023)
j.	Potential to create major 'breakthrough', change mindsets, presage 'a new humanity'	Ness (2023) Caffo (2023)

Tab. 1 | Reducing resource demand: 'the elephant in the room' (credit: the Author, 2024).

No.	Key topics	References
a.	Breakthrough Agenda focuses upon clean technologies and efficiency	IEA (2023)
b.	Buildings Breakthrough commitment to triple renewables, double energy efficiency	IEA (2023)
c.	But any gains likely to be outpaced by growth in floor area	UNEP (2022) Ness (2023)
d.	Sufficiency introduced to Buildings Breakthrough: constrain and redistribute such growth	IEA (2023)
e.	Developed countries that have larger floor area to repurpose should take lead	IPCC (2023)
f.	Establish tracking metrics (floor area growth per cap) and effective sufficiency policies	IEA (2023)
g.	Identify mechanisms to constrain floor area growth e.g. top down carbon budgets	EEB (2020)

Tab. 2 | Can 'sufficiency' underpin a 'Buildings Breakthrough'? (credit: the Author, 2024).

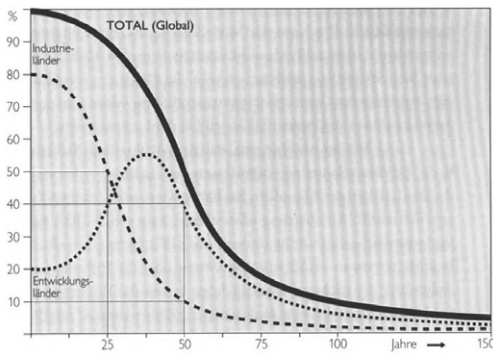


Fig. 9 | Material flow reduction scheme; legend: Industrie-länder – Industrialised countries; Entwicklungs-länder – Developing countries; Jahre -Years (source: Schmidt-Bleek, 1993).



Figg. 10, 11 | Sky City Casino in Adelaide (credit: the Author, 2024); Reduction Roadmap (courtesy of Reduction Roadmap, Denmark).



‘sviluppatе’, ed evidenziando la necessità di studi ulteriori e più approfonditi di quanto sia stato possibile fare in queste pagine.

Our response to the climate emergency is usually framed in terms of ‘decarbonisation’, an energy transition based upon renewables and efficiency improvements. However, it is seldom realised that our consumption of material resources – including renewable energy infrastructure – plays a large part in the energy we use and the emissions we generate (Haigh, 2023; Fig. 1). Arguably, for the stronger response required, we need to shift our frame of reference beyond decarbonisation to the gross over-consumption of materials and other resources, with material use having tripled in the past 50 years (UNEP, 2024). Similarly, taking a wider view, climate change can be seen as just one of the six planetary boundaries that are currently being exceeded, with biodiversity loss among those demanding urgent attention (Rockström et alii, 2023).

Tackling these crises should be seen in the context of the Sustainable Development Goals (SDGs), including Climate Action (SDG 13), Reducing Inequalities (SDG 10) and Life on Land (SDG 15). As Stahel (2008) pointed out, responding to climate and other challenges is not just a matter of reducing emissions, but also of global ethics. Arguably, overconsumption of resources is the common element and at the root of all these crises, with 18% of the population driving 74% of global consumption (Steffen et alii, 2015). Friends of the Earth Europe (2022) emphasised that «Our

core ecological problem is not climate change. It is overconsumption, with climate change and its social inequalities as the symptom». This is represented by the ‘champagne glass’ diagram (Fig. 2), originating in the Human Development Report (UNDP, 1992) and more recently adapted by Oxfam (2023; Fig. 3). The richest 10% within the bowl of the glass are responsible for around 50% of ‘consumption carbon’, whereas the contribution of the poorest 50% occupying most of the stem is a negligible 8%.

Moreover, Hickel et alii (2022, p. e344) assessed national contributions to extraction-related ecological breakdown, highlighting the notion of ‘fair shares’ of resource use that are «[...] grounded in principles of equity and sustainability». A dramatic paradigm shift is required for the richest 1% to reduce their carbon consumption and resource use by around 96%, while the poorest 50% could increase their per capita emissions by around three times (UNEP, 2020). Similarly, Hickel et alii (2022) found that high-income countries need to scale down aggregate resource use by an average of 70%. This points to the need for a global strategy to reduce and rebalance resource consumption directed at tackling climate change, biodiversity loss, and inequality, with the building and construction sector, among the most energy-intensive, required to play a major role (Ness, 2022b).

Significance of buildings growth | Buildings and infrastructure are together responsible for around 40% of global emissions, 50% of resource extraction, and 40% of waste. Annual emissions related to building construction are steadily increasing

and reached 3.7 Gt CO₂eq in 2016, with energy and emissions ‘embodied’ in the extraction and production of materials and construction of increasing significance. In addition to operational emissions (around 28%), this currently comprises around 12% of the total over a building’s life (Falk et alii, 2020). With greater ‘decarbonisation’ of energy sources, the proportion of embodied energy and emissions is also increasing. Without intervention, it is forecast to constitute 85% of all Australian emissions by 2050 (GBCA and thinkstep anz, 2021). In simple terms, «Buildings are more efficient, but they are also bigger and more numerous» (Barber, 2023, p. 2).

The United Nations Environment Programme and the Global Alliance for Buildings and Construction (UNEP, 2022) reported that emissions associated with floor area growth had surpassed gains from increased use of renewables and energy efficiency. This message was reiterated by the IPCC (2022, chapter 9.4), while Falk et alii (2020, p. 80) noted that «[...] Energy use per square metre is reducing by about 1.5% per year, but this is offset by an increase in floor area of 2.3% per year». Nevertheless, the industry continues to rely upon technological efficiency improvements, while expecting to «[...] double global building floor area by 2060 by adding 230 billion square metres of new floor area, the equivalent of adding an entire New York City every 34 days» (Architecture 2030, 2021; Fig. 4). Regrettably, such projections are seldom challenged and may become a self-fulfilling prophecy.

Even a cursory view of the implications of such massive growth must surely arouse our concerns about ever-increasing consumption carbon, de-



Fig. 12 | Park Hill Estate, Sheffield: building life was extended by reinforcing and rejuvenating the structure, while the infill was renovated using adaptable and moveable design (source: hoddereducationmagazines.com).

struction of natural habitats (Fig. 5), and the equity of where this growth is located (Fig. 6). This is often justified as necessary to respond to increasing urbanisation, amid claims that «[...] 70 per cent of buildings standing in Africa by 2040 have not yet been built» (Oxford Economics, 2021, p. 39). On the other hand, the authors of the report entitled *Future of Construction* view urbanisation – expected to «[...] turbocharge growth in emerging markets» – as an opportunity for capitalists, while also expecting such growth in the U.S. Alarmingly, the sector continues to argue that climate obligations can be met while continuing new construction: «[...] we won't stop creating buildings, but we can pivot, make them part of the solution» (Himes, 2021), with reliance upon so-called low-carbon, biogenic, and photosynthetic materials (Ness, 2022a). In other words, they wish to 'have their cake and eat it too'.

Challenging such mindsets and practices, garnering support, and creating momentum for change is important not only to meet climate obligations but also to arrest biodiversity loss and growing inequity. Such forecasts originated from UN DESA (2018) and others at a time when the need for continued and increasing economic growth was accepted. However, the 'climate' (sic) has now changed, and this approach is widely disputed. The *Beyond Growth 2023* conference, held during May 2023¹, 'debunks' the growth forecasts that dominate 'integrated climate modelling' (Sciences Po, 2023). Thus, reviewing and challenging the forecasts of high growth in floor area is imperative. What is the real demand for human services, shelter and infrastructure? Where will it be based? Can it be met by non-build solutions, such as digital services and the like?

Aims, proposition, and methodology | In tackling these 'issues' of our time with a 'critical systems' approach (Irwin, 2018) and questioning the overconsumption of resources in construction (Ness, 2021b), a dramatic disruption of established thinking and policies is required. We can turn to the arts for inspiration, such as the work of glass artist Liam Fleming, who 'relinquishes control' in his 'Transitory Vessels' (Fig. 7), stretching the bound-

aries in sculpting glass. His «[...] flat, curved, angled, and asymmetric Pillar Vase is a reference to the support structures and angles of the built environment»². Similarly, 'innovability' can open up wider horizons by promoting 'creative holism' rather than reductionism (Jackson, 2006, pp. 652, 655); this «[...] confers many advantages over traditional reductionist approaches in dealing with complexity, change and diversity [and can bring forward] divergent views and beliefs [...] on complex problem situations, [enabling participants] to appreciate more fully alternative 'world-views' and the possibilities for change they offer».

Similarly, Caffo (2023) has questioned our view of reality, highlighting our inherent bias, while systems theorist Ackoff (cited in Wardman, 2011, p. 9) discerned that: «[...] reality is not two-dimensional, it is multi-dimensional, and every slice through it will give a different view». In this regard, different boundaries or perspectives of a complex situation can be studied by switching our focus between 'zooming out', synthesis, or 'zooming in', analysis (Ackoff, 2004). Such creative exploration can be assisted and enhanced by 'relational networks' (Florida, 2020), facilitated by digital technologies that open up hitherto unseen possibilities.

Thus, we aim to develop and test a proposition involving a 'paradigm shift' in thinking and approaches to architecture and the built environment, more appropriate for the age of the 'overshoot'³ and even 'the end of the species' (Caffo, 2023).

Firstly, current projections for global floor area growth in the built environment are reviewed by 'zooming out' to a wider systems level, while strategies to tackle this major challenge are examined. Proposition 1) is that 'global service needs can be met with less construction overall by constraining floor area in the Global North while enabling additional growth in the South'. Secondly, while 'zooming in' to focus upon architects and designers, industry attitudes and practices are examined with a view to uncovering the potential for less resource-intensive and more equitable solutions. Proposition 2) is that 'digitalisation and other kinds of 'innovability' may be used to provide human and business services with less require-

ment for real estate'. Next, we seek to highlight the current zeitgeist based upon increased building growth, and understand the mindsets and forces that drive it.

The buildings binge | There is evidence of a widespread belief that the construction and property sector may continue its appetite for growth in the consumption of material resources «[...] in the midst of the major building binge in human history» (Himes, 2021), while meeting its obligations to attain 'net-zero' emissions by 2050 via 'decarbonisation of the energy grid and energy efficiency. Meanwhile, beyond the emissions it generates, material extraction and use are responsible for over 90% of biodiversity loss and water stress (Haigh, 2023). While buildings and infrastructure play a critical role in tackling the interlinked challenges of climate change, biodiversity loss, and inequality, annual emissions related to the sector are increasing steadily and reached 3.7 Gt CO₂eq in 2016 (Falk et alii, 2020). Moreover, as Deetman et alii (2020, p. 1) found, «[...] demand for construction materials will continue to increase in most regions, even in developed countries», where population growth is relatively stable.

Nevertheless, the global construction industry relentlessly pursues unrestrained growth, whilst under the misconception that this can be 'green' due to bio- and low-carbon materials and 'clean tech' (Ness, 2021b). The mantra of 'net-zero carbon by 2050' lacks a sense of urgency, is often seen as continuation of 'business as usual' practices enabled by spurious carbon offsets, and usually fails to achieve absolute reduction of emissions, especially embodied. In this regard, the US Green Building Council made the misleading claim that «[...] absolute U.S. commercial building emissions have decreased to 1990 levels despite a 55% increase in floor area over the same period» (USGBC, 2023, p. 3; Arehart et alii, 2021).

Regrettably, there are few restraints on new buildings' size and floor area, with more skyscrapers often encouraged as a sign of prosperity while being awarded the highest 'green' ratings (Ness, 2021b). For example, plans for a \$400 million, 37-storey, 183-metre tower, including a luxury hotel and office space located behind a heritage structure (part of which would be demolished), have been lodged with the South Australian Planning Commission. If approved, this would become the City of Adelaide's tallest building (Fig. 8). This is in the context of City Council and SA Government plans to respond to questionable population growth forecasts and the current housing crisis via greatly increased construction. Such strategies, though, contradict the urgent need to mitigate climate change and fail to consider the impact of embodied carbon (Ness and Xing, 2023).

Meanwhile, most attention remains focused upon operational energy and emissions. The State of Climate Action Report (Boehm et alii, 2023) advocates reducing the carbon intensity of building operations to 13-16 kg CO₂eq per square metre, as the primary strategy of a multi-pronged approach that involves improving energy efficiency, energy retrofits of existing building stock, ensuring new buildings are net zero in operation, and substituting low- and zero carbon materials. However, as we now discuss, such approaches are unlikely to be enough.

Reducing resource demand: 'the elephant in the room'

According to Friends of the Earth Europe (2022), «Demand-side measures that seek to address and remedy the inequitable overconsumption of natural resources are the elephant in the EU-policy room», adding that «Our current system extracts, produces, consumes, and wastes resources much faster than Earth can regenerate». Yet, absolute reduction of resource demand and consumption remains a blind spot in national climate and energy strategies. As we have seen, this is most evident in the case of the built environment. Overcoming this discrepancy entails questioning demand: what needs to be built (if at all), for whom, and where, which can presage momentous change for future building and infrastructure projections (Ness, 2022a; Tab. 1).

As the IPCC (2022, p. 505) noted, «[...] to enhance well-being, people demand services and not primary energy and resources per se». Furthermore, the IPCC (2023) emphasised that demand-side measures and new ways of end-use service provision may reduce emissions in end-use sectors (buildings, land transport and food) by 40-70% compared to baseline scenarios, while recognising that some regions and socio-economic groups require additional energy and resources. In the buildings sector alone, demand-side mitigation has the potential to reduce emissions by 66% by 2050, in addition to supporting responsible consumption and production (SDG 12) and attainment of other SDGs. The power of demand-side solutions could be harnessed for high well-being with low energy and material demand (Sugiyama et alii, 2024); as Circle Economy Foundation (2024) simply expressed, we could meet our needs with one-third fewer materials than used today.

The important role of 'sufficiency' policies in avoiding demand in the buildings sector was introduced by the IPCC (2022, p. 1008): «[...] a set of measures and daily practices that avoid demand for energy, materials, land and water while enabling well-being for all within planetary boundaries». The report added: «[...] Implementing sufficiency measures that limit growth in floor area per capita, particularly in developed regions, reduced the dependence of climate mitigation on technological solution [...] At a global level, up to 17% of mitigation potential could be captured by 2050 through sufficiency interventions» (IPCC, 2022, p. 955).

In pursuing well-being for all, the 'sufficiency' concept recognises that many lack sufficient resources (insufficient) while others consume more resources than required (over-sufficient). This reflects the notion of 'shrink and share' (Kitzes et alii, 2008), and the earlier work of Schmidt-Bleek (Fig. 9) and his 'Factor 10' colleagues, who argued for a shrinking and convergence of resource consumption (Schmidt-Bleek, 1993; Ness, 2022b). In essence, «[...] sufficiency addresses the issue of a fair consumption of space and resources» (IPCC, 2022, p. 955). While the circular economy seeks to gain more value from resources by keeping them in use, such as via adaptive reuse of buildings and infrastructure, it is largely ineffective when demand for new construction continues to increase (Circle Economy Foundation, 2024). On the other hand, 'sufficiency' emphasises the need to consider ways of avoiding and reducing demand in the first place,

while pairing of 'sufficiency' and circularity can increase overall effectiveness (Saheb, 2021). Demand-side strategies, 'dematerialisation', and service innovation are unique and important aspects of 'sufficiency'.

While 'sufficiency' may be anathema to those who pursue increased material-driven growth, négaWatt Association (2023, p. 3) found that it does not necessarily mean an economic decline and can have a positive impact upon jobs: «[...] an energy transition based on sufficiency, efficiency and renewables would provide economic, social, and environmental benefits». Nevertheless, 'sufficiency' policies have the potential to create a major 'breakthrough' within the buildings and property sector, changing 'the relationship of space' and mindsets, and presaging 'a new humanity' (Ness, 2023; Caffo, 2023).

Can 'sufficiency' underpin a 'Buildings Breakthrough'?

The 'Buildings Breakthrough' was

launched at COP28 UAE, adding to the Breakthrough Agenda introduced at COP26 Glasgow. The Agenda aims to strengthen international collaboration to make clean technologies and sustainable solutions the most affordable, accessible and attractive option in key sectors and all regions by 2030.

The Breakthrough Agenda Report (IEA, 2023) notes that the building sector is not on track for net zero by 2050, with emissions growing at an average of 1% per year since 2015. Although the final energy intensity of the sector has decreased by around 6% over the same period, this improvement has been outpaced by floor area growth: «[...] Energy intensity needs to fall a further 35% by 2030 to be aligned with the IEA Net Zero Scenario»; in addition, «[...] to be net zero by 2050, all new buildings need to be net zero from 2030, up from less than 5% of new buildings today». As with other Breakthrough Agendas, including road transport, steel, cement and concrete, the Build-



Fig. 13, 14 | Temporary People's Pavilion, Eindhoven, 2017 Dutch Design Week. The structure was made entirely from borrowed materials, while the pavilion was clad in interlocking plastic tiles recycled from PET bottles donated by town residents (source: tudelft.nl; credit: F. Dujardin).

ings Breakthrough currently focuses upon clean technologies and efficiency, with a commitment to tripling the use of renewables and doubling energy efficiency by 2030 – a strengthening of strategies failed in the past (Ness, 2023; Tab. 2).

To constrain and redistribute such growth, with increased attention to the demand side, the Breakthrough Agenda Report introduced the concept of ‘sufficiency’: «[...] sufficiency measures must complement the role played by efficiency, behaviour and renewables in the mitigation of emissions [...] with implementation efforts led by developed countries which have a larger floor area to repurpose, and less pressure from population growth and less pressure from population growth and urbanisation» (IEA, 2023, pp. 115, 116). Furthermore, to advance the understanding and role of ‘sufficiency’ within the sector, countries should develop common definitions, establish tracking metrics (e.g. growth of floor area per capita), and identify effective ‘sufficiency’ policies within the sector. What are some mechanisms to constrain growth in new floor areas, especially ‘top-down’ but also ‘bottom-up’, which advance the understanding and use of ‘sufficiency’ principles? In this regard, carbon budgets may not only constrain ‘consumption carbon’ but also serve as a proxy for material budgets (EEB, 2020).

Carbon budgets | EU Research has led the way in showing how ‘carbon budgets’ may constrain and rebalance the distribution of global building growth (Habert et alii, 2020; Hoxha et alii, 2020). «The remaining carbon budget, and its normative target for distributional equity, is the upper limit of sufficiency» (IPCC, 2022, p. 955), and may be allocated to countries, cities, sectors, and even disaggregated to individual buildings. At a time when the industry is focussed upon ‘bottom-up’ requirements for bio-materials and the like, while failing to see the bigger picture, this mechanism can provide the overarching constraint on growth in floor area that is so desperately required.

Distributional equity and climate justice are important principles for assigning carbon budgets (Alcaraz et alii, 2018). In questioning how the allocation of resources and carbon may deliver the most societal value, the notion of ‘use-value’ also provides a way forward. In the theory of thermodynamics, use values are defined as material or energy with low entropy, based upon capacity to satisfy human needs (Georgescu-Roegen, 1973). With this in mind, social and affordable housing could arguably be given precedence to the over 50 per cent of new real estate that is constructed for investment, financialisation and capital gain (Ness, 2022a) – such as the casino shown in Figure 10.

Le Den et alii (2023) took an important step for Science Based Targets by identifying the appropriate share of buildings’ embodied emissions out of the entire carbon budget. Using data on overall global floor area development from the IEA (2021), CRREM (2023), and Deetman et alii (2020), they proposed a global decarbonisation pathway for building typologies per square metre, compliant with the IPCC 1.5 °C scenario. While the IEA and CRREM anticipate continued growth of floor area, with the vast majority occurring in ‘developing markets’, the decarbonisation pathway developed by Le Den et alii (2023, p. 19) «[...] relies on slowing floor area growth and building construction in developed economies to a major extent and to a considerable extent in developing economies as well». Similar to the findings of Deetman et alii (2020), Le Den et alii (2023, p. 10) projected an increase in growth rates of floor area for offices and retail, compared with a slight decrease for residential: as they point out, «[...] the projected high growth in floor area results in steep intensity reductions to stay within the global carbon budget».

On the other hand, the science-based Danish Reduction Roadmap, sets 96% reduction targets for the building sector by 2030, based upon constraining both emissions and floor area. Carbon emissions should be reduced from 9.6 kg CO₂e/sqm per year while, at the same time, reducing the rate of construction from 3,072,000 sqm per year to 770,000 sqm per year (EFFEKT, MOE and CE-BRA, 2022; Fig. 11). Clearly, there is a wide disparity between the ambitions of the Reduction Roadmap and the other studies. According to LETI (2020, p. 6), «[...] Over the next 40 years, the world expects to build 230 billion square metres of new construction [...] so we must act now to meet the challenge of building net zero developments». Whilst ‘primary actions’ include ‘build less’ and questioning if a new building is necessary to meet the brief, the strong message of the Reduction Roadmap – that the rate of new construction must be significantly reduced in wealthier societies – has not been heeded.

The effectiveness of carbon budgets in constraining new construction is highly dependent on the ability to measure embodied carbon, especially at the inception, planning and approval phases of potential projects.

Impact of embodied carbon | So-called ‘upfront’ embodied carbon associated with initial construction, especially the substructure and superstructure, represents the largest share of total embodied carbon (Le Den et alii, 2023). This is where attention should be focused to make significant savings in carbon and resource consumption – not to

mention overall cost. Embodied carbon standards are under development (e.g. the UK Net Zero Carbon Buildings Standard), while the notion of reducing whole life carbon of buildings is now gaining acceptance. As the RICS (Royal Institution of Chartered Surveyors) professional standard explains⁴, whole-life carbon constitutes operational, embodied and user carbon over the entire life cycle of a built asset. Notably, RICS gives special attention to the ‘upfront carbon’ stage, including non-physical pre-construction activities.

Beyond building-related embodied carbon, Haberl et alii (2023) showed that patterns of settlements and infrastructures have a major influence on per-capita energy demand and CO₂ emissions at the urban level. Moreover, «[...] providing essential services with a considerably lower level of material stocks could contribute to large reductions in global resource use and GHG emissions» (Krausmann, Wiedenhofer and Haberl, 2020, p. 1). Such research highlights the consumption of materials in buildings and urban settings, including the important role played by reducing embodied carbon in cutting the ‘consumption carbon’ of cities. C40 Cities (2018) emphasised that taking into account consumption carbon (including embodied carbon associated with imported products) increased territorial-based emissions by over 60%.

However, most efforts to reduce embodied carbon have focussed upon the materials level. These seek to ‘decarbonise’ the carbon-intensive material production industries, involving embodied carbon benchmarks per square metre of construction. This is an efficiency rather than a ‘sufficiency’ metric based upon targets per capita, and fails to constrain overall building size. Instead, a top-down strategic and ‘systems’ viewpoint is required at the RICS pre-construction stage, which considers ways to avoid and reduce embodied carbon by constraining new builds and adapting existing assets.

As emphasised by Horup et alii (2022, p. 7), «[...] Budget-based targets set at a building level [...] constitute a strong signal for the demand side (investors, owners) and would subsequently be passed down the value chain (designers, producers)». Furthermore, the authors emphasised that achieving Paris-aligned values requires a ‘fundamental transformation’ of the industry, with action by policy-makers to reduce the number of square metres built.

Innovability in Architecture and Design | A dramatic reduction in resource demand and consumption via ‘sufficiency’ begins with understanding that we may already be in the new geological epoch known as the Anthropocene (Steffen et alii, 2015) and facing ‘architecture of the overshoot’ (Barber, 2023).

A minimalist, sufficient, and ‘smart’ approach to buildings and services could have profound implications for the roles of architects and designers, while opening up alternative business and creative opportunities. According to Falk et alii (2020, p. 83), halving emissions by 2030 will require a series of related initiatives: «[...] First, one should try to reduce the total need for building space, then improve the way space is used, then reconstruct a building to better adapt it to its needs, and only as a fourth and last resort construct a new build-

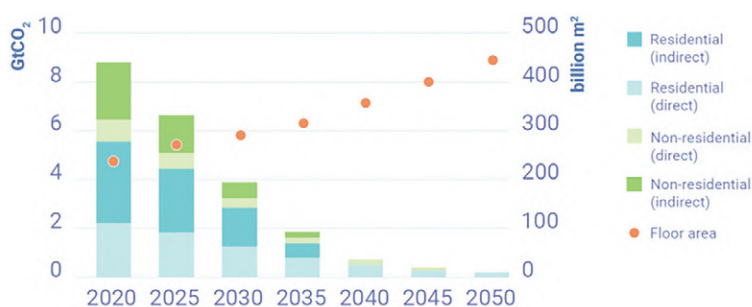


Fig. 15 | Global buildings energy demand and floor area growth under the IEA Net Zero Emissions by 2050 Scenario (source: UNEP, 2022; IEA, 2021).

ing» (Fig. 12). The Circular Buildings Toolkit (Arup and EMF, n.d.) highlights, as Step 1, the option of ‘build nothing – refuse unnecessary new construction’: it notes that: «[...] a deep and thoughtful interrogation of the project brief against the client’s needs is needed to decide whether a new building is the best way to meet those needs», a strategy aimed at avoiding intensive material use associated with new construction.

The opportunity to pursue alternative ways of meeting services, with less ‘consumption carbon’, could foster a closer relationship with clients, which involves understanding their needs, a stronger voice in the pre-construction stage, and new services such as ‘climate-based optioneering’ (Hurst, 2023). While the design of new ‘greenfield’ projects may decline, more creative and profitable opportunities may arise via adaptive reuse, stewardship and management of existing assets and spaces (Ness, 2021b). In terms of industry policies and incentives, criteria for ‘green’ certification systems would require major transformation to constrain building size and reward ‘modest’ solutions, as exemplified by architects such as Lacaton and Vassal or Arup’s temporary structure for the People’s Pavilion Eindhoven (Ness, 2021a; Figg. 13, 14).

At the 1st International Sufficiency Summit⁵, Inês Costa, Associate Partner Deloitte, emphasised that business and industry should view ‘sufficiency’ strategies as ‘smart and intelligent’ and able to stimulate innovation, while conforming with the laws of thermodynamics: «[...] We should stop thinking of planetary limits as constraints, but rather as guidelines, frontier conditions and starting points». In this regard, the notion of ‘innovability’ leads us to question the status quo and creatively uncover new possibilities.

Responses to Covid-19 accompanied by new patterns of remote work, including increased working from home, have shown that digitalised services and transactions may obviate the need for physical space. For example, Falk et alii (2020) highlighted recent reduced demand for physical banks and post offices, where many activities are now performed online. Online education also reduces the need for teaching spaces, while similar trends in the fields of virtual health, entertainment, retail, food provisioning, and the like all reduce the need for real estate. Similarly, Innovation hubs, formerly involving physical spaces, now often suffice via online eco-systems.

When announced in 2021 as part of the EU Green Deal, the New EU Bauhaus offered great promise to pursue creative ways to meet needs in a less material-intensive manner (European Commission, 2021; Ness, 2021a). Amid continuing consultation on a potential mission to revitalise neighbourhoods, the New EU Bauhaus Academy Alliance will now promote training on ‘circular bio-based solutions’ (European Commission, 2023). While this may be a step forward, it is once again focused upon the materials level and is unlikely to constrain overall growth in floor area. It is undoubtedly time for the New Bauhaus, architects and researchers to seize the opportunity offered by innovability, ‘smart cities’ and the like to drive the transformative change necessary for ‘architecture in the overshoot’.

Discussion | The United Nations Environment Pro-



Fig. 12 | Zeitz Museum of Contemporary Art Africa, Heatherwick Studio Architects: adaptive reuse of disused grain silos (credit: I. Baan; courtesy ArchDaily and Arup).

gramme (UNEP, 2022) and IEA (2021) continue to prioritise clean energy in pursuing net zero emissions by 2050 despite expecting floor area to increase markedly (Fig. 15). However, the analyses by Boehm et alii (2023), CRREM (2023) and Deetman et alii (2020) have shown that a decarbonisation pathway also requires slowing floor area growth, especially in the Global North. This pathway is jeopardised by the projected 150% growth in the building stock for offices and retail by 2050, versus 50% for residential stock, which would necessitate steep intensity reductions to stay within carbon budgets (Deetman et alii, 2020).

Arguably, the construction of commercial and other properties with questionable ‘use value’ should be severely restrained, especially in view of the vast tracts of vacant space available for refurbishment and the ability of digitalisation to deliver many services online. Denmark’s Reduction Roadmap emphasises that a required 96% reduction can be achieved by reducing both emissions and the rate of construction (EFFEKT, MOE and CEBRA, 2022). Notably, this roadmap is for housing construction, with arguably more ‘use value’ than commercial construction.

The introduction of ‘sufficiency’ policies and practices, coupled with the already widespread acceptance of circularity, has the potential to reduce and rebalance demand for resources, in a fair way, all within planetary boundaries and in support of the SDGs. As O’Neill et alii (2018, p. 6) found, «[...] resource use could be reduced significantly in wealthy countries without affecting social outcomes, while also achieving social outcomes, while also achieving a more equitable distribution among countries».

When combined with renewables and efficiency, the French experience of ‘sufficiency’ approaches has also indicated economic, social, and environmental benefits: ‘consuming less to live better’ (négaWatt Association, 2023). From an architectural and design perspective, while ‘sufficiency’ strategies such as carbon budgets may constrain new construction, they may also stimulate ‘innovability’ in adapting existing stock and assisting clients in finding less material- and carbon-intensive solutions – as with the Zeitz Museum, Cape Town (Fig. 16).

The Buildings and Climate Global Forum, Paris, March 2024, with the French Government – a leader in ‘sufficiency’ policies – among key organisers, provided a unique opportunity to highlight the role of ‘sufficiency’ and demand-side solutions in challenging projections that «[...] buildings are essential for climate change mitigation and [...] the global buildings surface should double by 2060»⁶. The Forum included a ‘sufficiency’ session, which conveyed the following calls to participating governments: to prioritise ‘sufficiency’ in public policies for decarbonising the building sector and international cooperation; to reconsider the built environment growth scenarios for 2050 to ensure compatibility with limited resources; and to transfer the semantics of embodied carbon into limiting initial (upfront) carbon.

Although ‘sufficiency’ was only briefly mentioned in the Forum’s Declaration of Chailot⁷, this provides a ‘foot in the door’ for further efforts to emphasise the fundamental importance of ‘sufficiency’ within international climate, social justice, and resource policies.

Conclusions | While organisations such as the United Nations Environment Programme (UNEP, 2022) advocate increased reliance on renewables and energy efficiency as their dominant strategy to combat climate change, this essay has revealed the ineffectiveness of this approach when it fails to tackle growing floor area and resource consumption.

In reviewing and challenging these projections via Proposition 1), with creative systems thinking and ‘innovability’, the essay has introduced the role of ‘sufficiency’ in avoiding, reducing and prioritising demand in the built environment. Recent recognition of embodied carbon has increased attention on ways to reduce and redistribute growth in global floor area, based upon carbon budgets accompanied by floor area allocations for various building typologies. In relation to Proposition 2), and again employing ‘innovability’, it has been shown that responding to the global imperatives not only poses major challenges but also creates opportunities for architects and designers. The essay has indicated how architects, designers, and other stakeholders

should urgently respond to the challenges of ‘architecture in the overshoot’ in a positive and novel manner. This may stimulate alternative ways of meeting service needs, aided by digitalisation, while opening up to new business opportunities. However, transforming the policies and mindsets of organisations such as UNEP and its Global Alliance for Buildings and Construction, coupled with industry practitioners who are accustomed to limitless construction, looms as a major and urgent challenge.

Firstly, further research is required to question the need and projections for massive growth in global floor area that involves a doubling of global demand for raw materials by 2060, especially when situated in wealthier societies. Secondly, these investigations should lead to the allocation of carbon budgets for countries, cities and the building sector, based upon historical emissions and needs. The embodied carbon and resource consumption of potential new projects may then be assessed within these budgets and framework, with projects having a higher societal ‘use

value’ being prioritised. Thirdly, further research and case studies are necessary to demonstrate that such policies, which constrain new construction and resource consumption, may lead to alternative business models, sources of income, and employment. In this regard, much can be learned from the French and EU experiences with ‘sufficiency’ policies and approaches.

This essay, which has an ‘exploratory’ purpose, has highlighted some strategies to address the transition required by the building and construction sector concerning climate emergency, biodiversity loss and inequality; it has demonstrated that the decarbonisation of buildings is not enough if the consumption and embodied carbon associated with a continued building expansion, especially in so-called ‘developed’ societies, is not taken into account, and has highlighted the need for further and more in-depth studies than have been possible in these pages.

Notes

1) For more information, see the webpage: beyond-growth-2023.eu/about-beyond-growth/ [Accessed 14 January 2024].

2) More Liam Fleming artworks can be found at the webpage: liam.fleming.com.au [Accessed 14 January 2024].

3) For more information on Architecture in the Overshoot – Design and Temporal Dysphoria in Times of Transition, see the webpage: thebritishacademy.ac.uk/projects/architecture-in-the-overshoot-design-and-temporal-dysphoria-in-times-of-transition/ [Accessed 14 January 2024].

4) For more information on Whole Life Carbon Assessment for the Built Environment, Professional Standard, see the webpage: rics.org/profession-standards/rics-standards-and-guidance/sector-standards/construction-standards/whole-life-carbon-assessment [Accessed 14 January 2024].

5) For more information, see the webpage: wrf2023.org/key-takeaways-from-the-1st-international-sufficiency-summit/ [Accessed 14 January 2024].

6) For more information, see the webpage: unep.org/news-and-stories/press-release/buildings-and-climate-global-forum-declaration-de-chailot [Accessed 30 March 2024].

7) The Declaration of Chailot (8 March 2024) may be accessed from the above link. While reuse, repurposing and renovation of existing buildings and infrastructures are recommended to minimise the use of non-renewable resources, the overriding emphasis remains on planning, design, operation, and management of all-around sustainable, zero-emission, resilient, and resource-efficient buildings.

References

- Ackoff, R. L. (2004), “Transforming the systems movement”, in *The Systems Thinker*, vol. 15, issue 8, pp. 2-5. [Online] Available at: thesystemsthinker.com/wp-content/uploads/pdfs/150801pk.pdf [Accessed 14 January 2024].
- Alcaraz, O., Buenestado, P., Escribano, B., Sureda, B., Turon, A. and Xercavins, J. (2018), “Distributing the global climate budget with climate justice criteria”, in *Climate Change*, vol. 149, pp. 131-145. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s10584-018-2224-0 [Accessed 14 January 2024].
- Architecture 2030 (2021), “Why the built environment?”, in *Architecture 2030*, 06/10/2021. [Online] Available at: architecture2030.org/why-the-built-environment/ [Accessed 14 January 2024].

Arehart, J. H., Pomponi, F., D’Amico, B. and W. V., Srubar III (2021), “A new estimate of building floor space in North America”, in *Environmental Science and Technology*, vol. 55, issue 8, pp. 5161-5170. [Online] Available at: doi.org/10.1021/acs.est.0c05081 [Accessed 14 January 2024].

Arup and EMF – Ellen MacArthur Foundation (n.d.), *Circular building design toolkit*. [Online] Available at: ce-toolkit.dhub.arup.com/strategies [Accessed 14 January 2024].

Barber, D. A. (2023), “Solar architecture and the sufficiency imperative”, in *Renewable and Sustainable Energy Transition*, vol. 4, pp. 1-3. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.rset.2023.100066 [Accessed 14 January 2024].

Boehm, S., Jeffrey, L., Hecke, J., Schumer, C., Jaeger, J., Fyson, C., Levin, K., Nilsson, A., Naimoli, S., Daly, E., Thwaites, J., Lebling, K., Waite, R., Collis, J., Sims, M., Singh, N., Grier, E., Lamb, W., Castellanos, S., Lee, A., Geffray, M.-C., Santo, R., Balehegn, M., Petroni, M. and Masterson, M. (2023), *State of Climate Action 2023*, Systems Change Lab, Berlin and Cologne, Germany. [Online] Available at: doi.org/10.46830/wriprt.23.00010 [Accessed 14 January 2024].

C40 Cities (2018), *Consumption-based GHG emissions of C40 cities*, Climate Leadership Group, C40 Cities for Climate Change, March. [Online] Available at: cdn.locomotive.works/sites/5ab410c8a2f42204838f797e/content_entry5ab410fb74c4833febe6c81a/5ad4c0c274c4837def5d3b91/files/C40_GHGE-Report_040518.pdf?1540555698 [Accessed 14 January 2024].

Caffo, L. (2023), “A talk with Leonardo Caffo”, in *Lunatum Magazine*, 10/02/2023. [Online] Available at: lunatummag.com/article/lunatumtalks-with-leonardo-caffo [Accessed 14 January 2024].

Circle Economy Foundation (2024), *The Circular Economy Gap Report 2024*. [Online] Available at: circularity-gap.world/2024 [Accessed 26 January 2024].

CRREM – Carbon Risk Real Estate Monitor (2023), *From global emission budgets to decarbonisation pathways at property level*. [Online] Available at: crrem.eu/wp-content/uploads/2023/01/CRREM-downscaling-documentation-and-assessment-methodology_Update-V2_V1.0-11-01-23.pdf [Accessed 14 January 2024].

Deetman, S., Marinova, S., van der Voet, E., van Vuuren, D., Edelenbosch, O. and Heijungs, R. (2020), “Modelling global material stocks and flows for residential and service sector buildings towards 2050”, in *Journal of Cleaner Pro-*

duction, vol. 245, article 118658, pp. 1-11. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118658 [Accessed 14 January 2024].

EEB – European Environmental Bureau (2020), *A circular economy within ecological limits – Why we need to set targets to reduce EU resource consumption and waste generation in the new Circular Economy Action Plan*. [Online] Available at: eeb.org/library/a-circular-economy-within-ecological-limits/ [Accessed 12 January 2024].

EFFEKT, MOE and CEBRA (2022), *The Reduction Roadmap*, Denmark, Copenhagen, September. [Online] Available at: reductionroadmap.dk/reduction-roadmap [Accessed 24 January 2024].

European Commission (2023), “New European Bauhaus Academy to build skills for sustainable construction with innovative materials”, in *ec.europa.eu*, 18/12/2023. [Online] Available at: ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_23_6593 [Accessed 14 January 2024].

European Commission (2021), *New European Bauhaus – Shaping more beautiful, sustainable and inclusive forms of living together*. [Online] Available at: europa.eu/new-european-bauhaus/index_en [Accessed 14 January 2024].

Falk, J., Gaffney, O., Bhowmik, A. K., Bergmark, P., Galaz, V., Gaskell, N., Henningsson, S., Hojer, M., Jacobson, L., Jonas, K., Kaberger, T., Klingensfeld, D., Lenhart, J., Loken, B., Lundén, D., Malmodin, J., Malmqvist, T., Olausson, V., Otto, I., Pearce, A., Pihl, E. and Shalit, T. (2020), *Exponential roadmap – Scaling 36 solutions to halve emission by 2030*, version 1.5, Future Health, Sweden. [Online] Available at: exponentialroadmap.org/wp-content/uploads/2020/03/ExponentialRoadmap_1.5.1_216x279_08_AW_Download_Singles_Small.pdf [Accessed 29 January 2024].

Floridi, L. (2020), “The green and the blue – A new political ontology for a mature information society”, in *ssrn.com*, 30/04/2021. [Online] Available at: dx.doi.org/10.2139/ssrn.3831094 [Accessed 29 January 2024].

Friends of the Earth Europe (2022), “The time is ripe for resource use reduction targets”, in *friendsoftheearth.eu*, 26/10/2022. [Online] Available at: friendsoftheearth.eu/news/the-time-is-ripe-for-resource-use-reduction-targets/ [Accessed 27 January 2024].

GBCA – Green Building Council of Australia and thinkstep-anz (2021), *Embodied carbon and embodied energy in Australia’s buildings*. [Online] Available at: thinkstep-anz.com/assets/Whitepapers-Reports/Embodied-

- Carbon-Embodied-Energy-in-Australias-Buildings-2021-07-22-FINAL-PUBLIC.pdf [Accessed 14 January 2024].
- Georgescu-Roegen, N. (1973), "The entropy law and the economic problem", in Daly, H. E. (ed.), *Toward a steady-state economy*, W. H. Freeman & Co., pp. 37-49. [Online] Available at: are.na/block/7305017 [Accessed 14 January 2024].
- Haberl, H., Löw, M., Perez-Laborda, A., Matej, S., Plank, B., Wiedenhofer, D., Creutzig, F., Erb, K.-H. and Duro, J. A. (2023), "Built structures influence patterns of energy demand and CO₂ emissions across countries", in *Nature Communications*, vol. 14, article 3898, pp. 1-10. [Online] Available at: doi.org/10.1038/s41467-023-39728-3 [Accessed 14 January 2024].
- Habert, G., Röck, M., Steininger, K., Lupisek, A., Birgisdottir, H., Design, H., Chandrakumar, C., Pittau, F., Passer, A., Rovers, R., Slavkovic, K., Hollberg, A., Hoxha, E., Juselme, T., Nault, E., Allacker, K. and Lützkendorf, T. (2020), "Carbon budgets for buildings – Harmonising temporal, spatial and sectoral dimensions", in *Buildings & Cities*, vol. 1, issue 1, pp. 429-452. [Online] Available at: doi.org/10.5334/bc.47 [Accessed 14 January 2024].
- Haigh, L. (2023), "Beyond the energy transition", in *Economist Impact*, 31/07/2023. [Online] Available at: impact.economist.com/sustainability/circular-economies/beyond-the-energy-transition-why-we-need-a-circular-economy-to-keep-human [Accessed 14 January 2024].
- Hickel, J., O'Neill, D. W., Fanning, A. L. and Zoomkawala, H. (2022), "National responsibility for ecological breakdown – A fair-shares assessment of resource use – 1970-2017", in *The Lancet / Planet Health*, vol. 6, issue 4, pp. e342-e349. [Online] Available at: doi.org/10.1016/S2542-5196(22)00044-4 [Accessed 14 January 2024].
- Himes, A. (2021), "Talk by A. Himes to TedX Seattle", in *carbonleadershipforum.org*. [Online] Available at: carbonleadershipforum.org/tedx-himes-climate-change [Accessed 14 January 2024].
- Horup, L. H., Steinmann, J., Le Den, X., Röck, M., Sørensen, A., Tozan, B. and Birgisdottir, H. (2022), *Towards EU embodied carbon benchmarks for buildings – # 3 Defining budget-based targets – A top-down approach*. [Online] Available at: doi.org/10.5281/zenodo.6120882 [Accessed 14 January 2024].
- Hoxha, E., Röck, M., Truger, B., Steininger, K. and Passer, A. (2020), "Austrian GHG emission targets for new buildings and major renovations – An exploratory study", in *IOP Conf Series / Earth and Environmental Science*, vol. 588, pp. 1-8. [Online] Available at: doi.org/10.1088/1755-1315/588/3/032052 [Accessed 14 January 2024].
- Hurst, W. (2023), "Get up to speed on embodied carbon now, say leading developers", in *Architects' Journal*, 25/05/2023. [Online] Available at: architectsjournal.co.uk/news/get-up-to-speed-on-embodied-carbon-now-say-leading-developers [Accessed 14 January 2024].
- IEA – International Energy Agency (2023), *Breakthrough Agenda Report 2023 – Buildings*. [Online] Available at: iea.org/reports/breakthrough-agenda-report-2023/buildings [Accessed 14 January 2024].
- IEA – International Energy Agency (2021), *Net Zero by 2050 – A roadmap for the global energy sector*. [Online] Available at: iea.org/reports/net-zero-by-2050 [Accessed 14 January 2024].
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2023), *Climate Change 2023 – Synthesis Report – Summary for Policymaker*. [Online] Available at: ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_SPM.pdf [Accessed 14 January 2024].
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2022), *Climate Change 2022 – Mitigation of climate change*, Working Group III 6th Assessment Report. [Online] Available at: ipcc.ch/report/ar6/wg3/ [Accessed 14 January 2024].
- Irwin, T. (2018), "The Emerging Transition Design Approach", in Stormi, C., Leahy, K., McMahon, M., Lloyd, P. and Bohemia, E. (eds), *Design as a catalyst for change / DRS International Conference 2018, 25-28 June, Limerick, Ireland*, pp. 968-989. [Online] Available at: doi.org/10.21606/drs.2018.210 [Accessed 30 January 2024].
- Jackson, M. C. (2006), "Creative holism – A critical systems approach to complex problem situations", in *Systems, Research and Behavioural Science*, vol. 23, issue 5, pp. 647-657. [Online] Available at: doi.org/10.1002/sres.799 [Accessed 14 January 2024].
- Kitzes, J., Wackernagel, M., Loh, J., Peller, A., Goldfinger, S., Cheng, D. and Tea, K. (2008), "Shrink and Share – Humanity's Present and Future Ecological Footprint", in *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, vol. 363, issue 1491, pp. 467-475. [Online] Available at: doi.org/10.1098/rstb.2007.2164 [Accessed 14 January 2024].
- Krausmann, F., Wiedenhofer, D. and Haberl, H. (2020), "Growing stocks of buildings, infrastructures and machinery as key challenge for compliance with climate targets", in *Global Environmental Change*, vol. 61, article 102034, pp. 1-10. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2020.102034 [Accessed 14 January 2024].
- Le Den, X., Caspani, M., Steinmann, J., Ryberg, M. and Lauridsen, K. (2023), *A 1.5 °C pathway for the global building sector's embodied emissions – Pathway Development Description – Draft*, Science Based Targets. [Online] Available at: sciencebasedtargets.org/resources/files/DRAFT_SBTi_Embodied-carbon-pathway-development-description.pdf [Accessed 14 January 2024].
- LETI – London Energy Transformation Initiative (2020), *LETI Embodied Carbon Primer – Supplementary guidance to the Climate Emergency Design Guide*. [Online] Available at: leti.uk/_files/ugd/252d09_8ceffbcfbdb43cf8a19ab9af5073b92.pdf [Accessed 14 January 2024].
- négaWatt Association (2023), *Energy sufficiency – Towards a more sustainable and fair society*. [Online] Available at: negawatt.org/IMG/pdf/181029_energy-sufficiency_negawatt-scenario_eng.pdf [Accessed 14 January 2024].
- Ness, D. A. (2023), "Technological efficiency limitations to climate mitigation – Why sufficiency is necessary", in *Buildings & Cities*, vol. 4, issue 1, pp. 139-157. [Online] Available at: doi.org/10.5334/bc.297 [Accessed 14 January 2024].
- Ness, D. (2022a), "Towards sufficiency and solidarity – COP27 implications for construction and property", in *Buildings & Cities*, vol. 3, issue 1, pp. 912-919. [Online] Available at: doi.org/10.5334/bc.268 [Accessed 14 January 2024].
- Ness, D. (2022b), "Beyond circularity – Do we need to shrink and share", in Pál, V. (ed.), *Social and Cultural Aspects of the Circular Economy*, Routledge, pp. 194-203. [Online] Available at: doi.org/10.4324/9781003255246-12 [Accessed 14 January 2024].
- Ness, D. (2021a), "Dalla nuova edilizia alla rigenerazione – Può il Nuovo Bauhaus ridefinire l'architettura e dare risposte ai cambiamenti globali? | The shift from new build to regeneration – Can the New Bauhaus transform architecture and design to meet global challenges?", in *Agathón / International journal of Architecture, Art and Design*, vol. 9, pp. 22-31. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/922021 [Accessed 16 January 2024].
- Ness, D. (2021b), *The impact of overbuilding on people and the planet*, Cambridge Scholars Publishing, Nottingham. [Online] Available at: cambridgescholars.com/product/978-1-5275-2402-6 [Accessed 14 January 2024].
- Ness, D. and Xing, K. (2023), "Embodied carbon – The elephant in the urban growth room", in *The Fifth Estate*, 28/11/2023. [Online] Available at: thefifthestate.com.au/urbanism/embodied-carbon-the-elephant-in-the-urban-growth-room/ [Accessed 14 January 2024].
- O'Neill, D. W., Fanning, A. L., Lamb, W. F. and Steinberger, J. K. (2018), "A good life for all within planetary boundaries", in *Nature Sustainability*, vol. 1, pp. 88-95. [Online] Available at: doi.org/10.1038/s41893-018-0021-4 [Accessed 14 January 2024].
- Oxfam (2023), *Climate Equality – A planet for the 99%*. [Online] Available at: policy-practice.oxfam.org/resources/climate-equality-a-planet-for-the-99-621551/ [Accessed 24 January 2024].
- Oxford Economics (2021), *Future of Construction – A global forecast for construction to 2030*, September. [Online] Available at: oxfordeconomics.com/wp-content-uploads/2023/08/Future-of-Construction-Full-Report.pdf [Accessed 14 January 2024].
- Rockström, J., Gupta, J., Qin, D., Lade, S., Abrams, J., Andersen, L. et alii (2023), "Safe and just Earth system boundaries", in *Nature*, vol. 619, article 7968, pp. 102-111. [Online] Available at: doi.org/10.1038/s41586-023-06083-8 [Accessed 14 January 2024].
- Saheb, Y. (2021), *Sufficiency and Circularity – The two overlooked decarbonisation strategies in the 'Fit for 55' Package*, European Environmental Bureau – EEB. [Online] Available at: eeb.org/library/sufficiency-and-circularity-the-two-overlooked-decarbonisation-strategies-in-the-fit-for-55-package/ [Accessed 14 January 2024].
- Schmidt-Bleek, F. B. (1993), *The Fossil Makers*, Birkhäuser.
- Sciences Po (2023), *Designing an outline for a new climate mitigation modelling framework*, Hybrid Workshop, 22/11/2023, Sciences Po, Paris. [Online] Available at: sciencespo.fr/psia/chair-sustainable-development/2023/11/22/workshop-designing-an-outline-for-a-new-climate-mitigation-modelling-framework/ [Accessed 26 January 2024].
- Stahel, W. R. (2008), "Global climate change in the wider context of sustainability", in *The Geneva Papers on Risk and Insurance – Issues and Practice*, vol. 33, pp. 507-529. [Online] Available at: doi.org/10.1057/gpp.2008.21 [Accessed 14 January 2024].
- Steffen, W., Broadgate, W., Deutsch, L., Gaffney, O. and Ludwig, C. (2015), "The trajectory of the Anthropocene – The great acceleration", in *The Anthropocene Review*, vol. 2, issue 1, pp. 81-98. [Online] Available at: doi.org/10.1177/2053019614564785 [Accessed 14 January 2024].
- Sugiyama, M., Wilson, C., Wiedenhofer, D., Benigna Boza-Kiss, B., Cao, T., Chatterjee, J. S., Chatterjee, S., Hara, T., Hayashi, A., Ju, Y., Krey, V., León, M. F., Martínez, L., Masanet, E., Mastrucci, A., Min, J., Niamir, L., Pelz, S., Roy, J., Saheb, Y., Schaeffer, R., Ürge-Vorsatz, D., van Ruijven, B., Shimoda, Y., Verdolini, E., Wiese, F., Yamaguchi, Y., Zell-Ziegler, C. and Zimm, C. (2023), "High with low – Harnessing the power of demand-side solutions for high wellbeing with low energy and material demand", in *Joule*, vol. 8, issue 1, pp. 1-6. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.joule.2023.12.014 [Accessed 24 January 2024].
- UN DESA (2018), *The world's cities in 2018*. [Online] Available at: un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/urbanization/the_worlds_cities_in_2018_data_booklet.pdf [Accessed 28 January 2024].
- UNDP – United Nations Development Programme (1992), *Human Development Report 1992*. [Online] Available at: hdr.undp.org/content/human-development-report-1992 [Accessed 14 January 2024].
- UNEP – United Nations Environment Programme (2024), *Global resources outlook 2024 – Bend the trend – Pathways to a liveable planet as resource use spikes*, International Resource Panel, Nairobi. [Online] Available at: unep.org/resources/Global-Resource-Outlook-2024 [Accessed 30 March 2024].
- UNEP – United Nations Environment Programme (2022), *2022 Global status report for buildings and construction – Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector*, UN Environment Programme. [Online] Available at: wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/41133 [Accessed 14 January 2024].
- UNEP – United Nations Environment Programme (2020), *Emissions Gap Report*. [Online] Available at: unep.org/emissions-gap-report-2020 [Accessed 14 January 2024].
- USGBC – U.S. Green Building Council (2023), *State of Decarbonisation – Progress in U.S. Commercial Buildings 2023*. [Online] Available at: usgbc.org/resources/state-decarbonization-progress-us-commercial-buildings-2023 [Accessed 14 January 2024].
- Wardman, K. (2011), "From mechanistic to social systemic thinking – A digest of a talk by Russell Ackoff", in *The Systems Thinker*, vol. 22, issue 7, pp. 7-10. [Online] Available at: thesystemsthinker.com/wp-content/uploads/pdfs/220711pk.pdf [Accessed 14 January 2024].

ARTICLE INFO

Received	19 March 2024
Revised	15 April 2024
Accepted	23 April 2024
Published	30 June 2024

POSTPRODURRE IL MODERNO

Lineamenti per una transizione energetica
intesa come transizione architettonica

POST-PRODUCING THE MODERN

Guidelines for an energy development
as an architectural transition

Giuseppe Marsala, Giulia Renda

ABSTRACT

Le eredità della città del moderno e dell'architettura costruita nel '900 sono campo di indagine per un aggiornamento degli statuti del progetto di architettura alla luce dei cambiamenti climatici e della transizione ecologica; il tema della transizione energetica diventa occasione per una riflessione sui fondamentali del progetto e sulle sue procedure operative per una necessaria transizione energetica in grado di interpretare le nuove sfide del nostro ecosistema. In questa prospettiva il saggio ripercorre sperimentazioni architettoniche contemporanee in chiave energetica eseguite sul corpo di architetture del Moderno, a partire dalla re-interpretazione dei suoi principi teorici.

The city of Modern legacy and 20th-century built architecture are the fields of investigation for the architectural design's statutes updating in the light of climate change and ecological transition; the energy transition theme, therefore, becomes an opportunity for a reflection on the fundamentals of design and its operational procedures for a necessary energy transition, which is capable of interpreting the new challenges of our ecosystem. From this perspective, the essay retraces contemporary architectural experiments in an energetic key performed on the structure of modern architecture, starting from the re-interpretation of its theoretical principles.

KEYWORDS

transizione, energia, postproduzione, architettura, moderno

transition, energy, post-production, architecture, modern

Giuseppe Marsala, PhD, is an Associate Professor in Architectural and Urban Composition at the Department of Architecture, University of Palermo (Italy). He conducts research activities in Italy and abroad, mainly in architectural and urban design and the reconversion of built, disused and non-disused architecture. Mob. +39 338/99.72.759 | E-mail: giuseppe.marsala@unipa.it

Giulia Renda, Architect, is a PhD Candidate at the PhD Programme in Architecture for the Ecological Transition between Interior Spaces and Landscape, cycle XXXIV, Department of Architecture, University of Palermo (Italy). She carries out research activities mainly in the field of energy efficiency in schools, specifically through the architectural composition of threshold space. Mob. +39 334/57.91.908 | E-mail: giulia.renda01@you.unipa.it



La locuzione ‘transizione ecologica’¹ è oggi entrata a far parte del lessico comune; veicolata dai mass-media e ridondata dalla politica², da qualche anno essa si pone al centro del dibattito globale sui modelli economici e di sviluppo del Pianeta. La sua nozione è attraversata da una progressiva precisazione semantica che riguarda anche il mondo scientifico e che sta contribuendo a ridefinire gli statuti delle scienze stesse, da quelle ‘dure’ a quelle umanistiche e sociali, mentre la sua irruzione nelle Accademie sta generando un cambio di paradigma nelle discipline, nel solco delle ricerche e degli studi condotti tra XX e XXI secolo dagli epistemologi della complessità, da Bateson (1977, 1979) a Prigogine e Stengers (1984), sino alle recenti ricerche di autori come Clément (2015), Moore (2017), Morin (2017), Morton (2019), Wilson (2021)³. La sua attuazione è favorita da ingenti appostamenti di risorse finanziarie all’interno dei bilanci dei governi europei e di Piani di indirizzo di cui l’ERP (European Commission, 2019a), il PNRR (MIMIT, 2023) e il PTE (CITE, 2022) sono i più noti.

Diversi storici ritengono che, insieme alla rivoluzione industriale e a quella digitale, la transizione ecologica sia tra le fasi della storia moderna che più hanno visto una convergenza tra indirizzi politici, investimenti economici e ricerca scientifica e che essa vada letta e interpretata come una trasformazione culturale a tutti i livelli e in tutti i settori: interconnesse tra loro, transizione ecologica e transizione energetica⁴ condividono il lemma che identifica la nostra epoca del transire (Barbero and Leonardi, 2017).

In questo quadro la transizione energetica investe discipline e branche operative tra le quali l’architettura occupa una posizione centrale e strategica. Gli obiettivi temporali della neutralità climatica entro il 2050 e della riduzione delle emissioni di gas serra entro il 2030 (European Commission, 2019b, 2021) sono oggi resi cogenti dai recenti dati sul surriscaldamento del pianeta (aumento della temperatura globale di 3,2 °C al 2100) e da quelli sul consumo di energia primaria e sulla produzione di CO₂ (Ritchie and Roser, 2020) e altri gas climalteranti (IPCC, 2023).

Ad essi si aggiungono dati relativi al consumo di suolo che stimano una richiesta di 230 mld di metri quadrati di nuove costruzioni entro il 2060 (UN Environment and IEA, 2017). Mentre scriviamo, il Parlamento Europeo ha varato la direttiva ‘case green’ che fissa nuovi standard per ridurre l’impatto ambientale del parco immobiliare europeo, responsabile di circa il 40 per cento del consumo energetico e del 36 per cento delle emissioni di CO₂ (European Parliament, 2024): secondo tale direttiva, a partire dal 2030 tutti i nuovi edifici residenziali dovranno essere costruiti per essere a emissioni zero con l’intero patrimonio edilizio climaticamente neutro entro il 2050.

Questi orizzonti pongono al progetto di architettura temi e questioni che lo chiamano a un aggiornamento dei suoi statuti a partire dalle nuove istanze richieste dal Pianeta e dall’equilibrio del suo ecosistema. Tale revisione non può leggersi come mera applicazione di alcuni requisiti tecnologici ai modelli architettonici ed urbani noti, né l’utilizzo di nuove tecnologie e materiali innovativi, in rapporto alle prestazioni energetiche, può prescindere da una riformulazione di principi compositivi che valorizzino il progetto di architettura entro

una nuova possibile stagione capace di comprendere e governare la complessità della condizione contemporanea (Butera, 2021).

Lo stesso può dirsi per le città e il loro repertorio di spazi aperti ed elementi che ne costituiscono i paesaggi e le materie. Secondo González-Campaña, Lafaurie-Debany and Rabazo Martin (2023, p. 32), «[...] ogni periodo della storia ha avuto [...] le proprie sfide da affrontare. Dopo diversi decenni di incuranza del rapporto città-natura e di cementificazione dei suoli naturali, ci troviamo di fronte alla necessità di riconsiderare la relazione tra il costruito e gli elementi naturali (in particolare l’acqua, la terra e l’aria), tra paesaggio e architettura. È noto che circa il 75% della superficie delle nostre città è pavimentata, con materiali che limitano la permeabilità del suolo e generano le isole di calore, e che entro il 2050 oltre il 68% della popolazione mondiale vivrà nelle città le quali già oggi consumano il 75% delle risorse non rinnovabili del nostro Pianeta, anche se coprono solo il 3% della superficie terrestre (UN, 2019)».

González-Campaña, Lafaurie-Debany and Rabazo Martin ci ricordano anche quanto gli spazi urbani della transizione assegnino oggi ai suoli e alla vegetazione la capacità di ridisegnarne le qualità a partire da temi quali il surriscaldamento globale, la vegetazione come mitigatore delle temperature (Sciaccia, 2023) e una rinnovata relazione tra urbano e rurale a partire dall’agroecologia (Sottile, 2022a). Esistono in tal senso proposizioni che indicano quale orizzonte per il progetto delle città la piantumazione di determinate quantità di alberi in ambito urbano⁵ (Sottile, 2022b), così come assistiamo a sperimentazioni che assegnano alla vegetazione il ruolo di agente di trasformazione climatica e formale degli spazi urbani, in grado di lavorare anche con la variabile tempo, inteso oggi come un acquisito e ineludibile materiale di progetto.

Emblema di questa relazione col tempo è l’installazione Shell Mycelium – Degradation Movement manifesto (Fig. 1), esposta in occasione del MAP Project Space Festival, nell’edizione 2017 della Kochi Muziris Biennale indiana. Il progetto, sviluppato dagli Architetti Rahman, Areddia e Yassin, ha visto la realizzazione di un prototipo costruito a partire dal micelio, l’apparato vegetativo dei funghi. Proponendo un’alternativa sostenibile ai tradizionali modelli edilizi, il Padiglione biodegradabile pone, in forma radicale, una riflessione sul concetto di temporaneità e una relazione osmotica tra architettura e vita, divenendone metafora attraverso la sua estinzione programmata e il suo transito provvisorio prima di tornare a essere ‘natura’.

Il transito delle architetture vegetali riguarda anche l’Eco Bulevar (2004-07) di Vallecas (Fig. 2), degli architetti Belinda Tato, Jose Luis Vallejo e Diego Garcia Setién, un progetto di osmosi generativa tra architettura e vegetazione. Si tratta di un intervento di attivazione di un nuovo spazio pubblico alla periferia di Madrid in cui tre Padiglioni cilindrici riciclabili (e realizzati con materiali riciclati) fungono da spazi aggregativi e da dispositivi bioclimatici. Quando i giovani alberi, piantati secondo fitte maglie di diversa densità, saranno cresciuti abbastanza per poter regolare bioclimaticamente l’aria le tre strutture non più necessarie a questa funzione potranno essere smontate e riutilizzate nella attivazione di altri luoghi, lasciando al loro

posto spazi aperti di comunità, intesi come radure all’interno di un bosco (Fig. 3). La trasferibilità del principio e la sua ripetibilità in contesti differenti conferiscono a questa procedura un carattere di sperimentazione scientifica e al progetto il ruolo di attivatore di processi, di cicli e di ecosistemi.

Queste e altre sperimentazioni stanno producendo gradi di innovazione ‘energetica’ e formale in diverse città, accrescendo la mitigazione del clima e delle isole di calore urbane⁶, come il progetto del parcheggio dell’Allianz Stadium di Monaco (2001-05) di Gunther Vogt (Fig. 4) che, ricoprendo il tetto dell’edificio con la stessa terra di scavo, raggiunge tre obiettivi: include nel processo di progettazione gli esiti dei movimenti di terra; garantisce la coibentazione e il raffrescamento naturale dello spazio architettonico; favorisce la costituzione della biodiversità attraverso un giardino affidato alla crescita spontanea di essenze locali.

Altri progetti esemplari sono la promenade Plantée di Parigi, capostipite delle infrastrutture verdi, progettata nel 1993 da J. Vergely e P. Mathieux (Fig. 5), e l’High Line (2000-19) di Corner e Oudolf: i due progettisti riconvertono la linea ferroviaria dismessa di 1,5 miglia, sospesa tra le case di Manhattan, in un parco lineare contenente 500 diverse specie vegetali. I progetti citati trovano anche nel paradigma del ‘selvatico’ (Metta and Olivetti, 2019) e del paesaggio urbano co-evolutivo il loro fondamento teorico e filosofico (Dessi, 2023).

Nell’ottica sistemica che la complessità della transizione energetica richiede, appare tuttavia necessario aggiungere a questi contributi uno sguardo sulle relazioni tra geografie ed elementi del Pianeta, anche distanti tra loro, che rimandano a Edward N. Lorenz (1963) e al cosiddetto ‘effetto farfalla’; o alle recenti ricerche di Jason Riggio et alii (2020) sugli impatti delle azioni umane nel continente africano. La condizione contemporanea del ‘transire’, dunque, chiede alle teorie e alle pratiche del progetto una nuova ecologia, un nuovo ‘oykos-logos’, un nuovo discorso sulla casa intesa come riparo costruito e, in senso più estensivo, come casa-mondo del nostro ecosistema (Morton, 2020): un discorso che può trovare alcuni antefatti teorici e filosofici in una rilettura critica dell’esperienza del Moderno.

Ontologia del moderno: un’interpretazione critica | Se le considerazioni sin qui esposte valgono per ciò che concerne il progetto del nuovo – che da qualche tempo vede sperimentazioni e ricerche i cui esiti sono ampiamente resocontati anche su questa rivista – appare utile indagare, in una prospettiva di ricerca originale, le strategie che la disciplina del progetto può mettere in campo intorno all’ingente patrimonio architettonico costruito e di spazi urbani che abbiamo ereditato dal ‘900, e che comunemente identifichiamo come l’architettura della città moderna.

Essa muove da un’analisi delle quantità e delle qualità di patrimonio edilizio prodotte dal XX secolo e dalla necessità di una loro riconversione che abbia nella transizione energetica il motore per una nuova stagione operativa che trova fondamento nelle riflessioni, autenticamente ecologiche e politiche, di Nicolas Bourriaud (2002) contenute nel suo *Postproduction – Culture as Screenplay – How Art Reprograms the World*. L’autore francese descrive la nostra epoca come un tem-



Fig. 1 | Shell Mycelium Pavillon (2016) in Kochi, designed by Shell Mycelium (credit: K. and G. Raja, 2016).

po in cui la questione artistica non si pone più nei termini di 'che cosa fare di nuovo', ma piuttosto di 'cosa fare di quello che ci ritroviamo già' e guarda al lavoro di alcuni artisti contemporanei che producono nuovo senso e nuova espressione nutrendosi dei corpi e dei prodotti artistici preesistenti.

Mutuando tale prospettiva possiamo guardare alla produzione architettonica del '900 come al 'girato' che il secolo ci ha lasciato e alla sua 'postproduzione' come sovrascritture architettoniche che possono ri-semantizzarla alla luce dei temi sollevati dalla crisi del cambiamento climatico. Ci si muove dal convincimento che l'architettura del moderno contenga principi, contenuti e spazi operativi che necessitano di essere ri-indagati alla luce della fase attuale e che i presupposti teorici che ne hanno segnato la sua stagione iniziale, sull'edificio come sulla città, hanno depositato un potenziale che appare ancora fertile, specie se guardato come chiave interpretativa dell'attuale contingenza storica.

L'Urbanistica dei 'redent' (Fig. 6), dell'edilizia libera, della rottura dell'isolato compatto e della separazione dei flussi, così come il sollevamento da terra degli edifici tramite i pilotis, la liberazione del suolo per dare spazio alla vegetazione e la separazione tra involucro e ossatura nell'edificio appaiono oggi risorse per l'architettura e le città che il '900 sembra non aver elaborato in tutto il loro potenziale; essi rappresentano riserve di valore di una eredità e costituiscono occasioni per agire su un 'già fatto' che declini, a partire dai suoi principi costituiti coniugati con le nuove tecnologie, temi quali quelli della soglia tra il 'dentro' e il 'fuori', della generazione di microclimi e delle nuove relazioni tra forma architettonica e fonti energetiche rinnovabili.

Tale prospettiva appare per certi versi in controtendenza rispetto alla percezione diffusa dell'esperienza della modernità alla quale si addebita la crisi di sistema che attraversa oggi il Pianeta per la iperproduzione di spazi e manufatti (edifici, strade, infrastrutture, agglomerati industriali, ecc.). Eppure – è questa la tesi del saggio – possiamo

individuare alcune possibili nuove abilità proprio all'interno, e nelle pieghe, degli stessi sistemi che in parte hanno generato quella crisi.

Un ulteriore anaffetto che ci mette in relazione con la sua eredità è costituito dalla condizione contemporanea del 'transire'. Essa ci rimanda alle riflessioni di alcuni autori intorno ai territori dell'instabile e del mutamento a cui sembra richiamarci la fase attuale: secondo Brunner, Conze e Koselleck (1972) infatti l'utilizzo del predicato moderno è possibile se un presente e i suoi concetti possono essere pensati dai suoi contemporanei come il passato di un presente che verrà; ciò concorda con l'idea di Charles Baudelaire (1994), secondo cui la modernità è transitoria, fuggitiva, contingente.

Se da questi assunti trae linfa l'architettura moderna già dalla sua nascita, la modernità è anche una condizione della società (e dell'anima) ancorata storicamente allo sviluppo delle città in cui lo sradicamento dell'uomo dal suo contesto lento e sicuro verso il veloce mondo urbano della provvisorietà e dell'incertezza, è portato all'estremo dall'industrializzazione e dalla separazione tra produzione e prodotto. Condizione che spinge Marshall Berman (1982) a definire la modernità come lo stato in cui tutto ciò che è solido si dissolve nell'aria. Riflessioni analoghe supportano le ricerche di Mario Perniola (1998, p. 9), filosofo dell'intermedio e del transitorio come condizione dell'esistenza stessa, che in un elogio si scaglia contro «[...] ciò che è incapace di trasformazione, ciò che resta identico a sé stesso in uno stato di completa e ottusa fissità».

Questi concetti sembrano oggi ripresi anche dalle riflessioni del Design. Infatti «Secondo Andrea Trimarchi e Simone Farresin il concetto di transizione è interessante perché implica una situazione di perenne cambiamento, uno stato dinamico che è quello nel quale probabilmente oggi si dovrebbe vivere. La parola diventa ancora più pregnante di senso quando viene accompagnata dall'aggettivo 'ecologico': mentre infatti si dà ormai per assodato il termine 'ecologia', che palesemente rappresenta una dimensione necessaria

al pensiero e alla vita contemporanei, l'idea di transizione [...] presuppone un costante adattamento, una specie di movimento continuo che è più complesso e significativo della semplice idea di transizione intesa come passaggio da un punto a un altro» (Valenti, Trimarchi and Farresin, 2023, p. 20).

Postprodurre il moderno: per una interpretazione operativa della transizione energetica del patrimonio architettonico e urbano del '900 | Alcuni principi del moderno, dicevamo – il 'plan libre', il tetto giardino, lo sviluppo in verticale, la separazione introdotta dal telaio Domino (Fig. 7) tra struttura e involucro, la liberazione della facciata con la possibilità dell'innesto di finestre continue e brise soleil (Venezia, 2015) – ben riassunti nei 5 punti per una nuova architettura elaborati da Le Corbusier nel 1926 (Bill, Boesiger and Stonorov, 1995) si offrono oggi, se interpretati nel loro spirito d'origine, quali elementi disponibili alla trasformabilità di architetture costruite nel XX secolo (Licata, 2012) muovendo dalle nuove domande sociali.

Temi architettonici come aggetti, portici, corti, loggiati, schermature solari, flessibilità d'uso e variabilità di funzioni e tridimensionalità di tetti e facciate si configurano, ad esempio, nel tipo miesiano a pelle e scheletro, come un sistema aperto di possibili varianti che guardano alla continua trasformabilità dell'edificio intelaiato e al 'transire dell'architettura', come lezione che il moderno può oggi fornirci per una interpretazione critica della transizione ecologica ed energetica.

Si fonda su questi principi l'intervento di riconversione della Clinica Santa Barbara a Gela (Fig. 8) – un edificio realizzato da Bacigalupo e Ratti nel 1962, su Piano di Nizzoli e Oliveri per la città residenziale ANIC Eni presso il quartiere Marchitella (Quaroni, 1962) realizzato in Sicilia da Enrico Mattei – di cui chi scrive è stato autore, insieme a Gaetano Licata (Marsala, 2018). Si tratta di un edificio composto di due blocchi rettangolari scanditi da una sequenza di 12 campate di setti e pilastri: al centro due campate speciali congiungono i due blocchi ospitando un doppio corpo di scale (Merlo and Severati, 2006).

La pianta segue lo sviluppo delle campate che regola il passo e la misura del sistema ripetuto delle degenze e degli ambulatori, serviti da una galleria di distribuzione centrale che attraversa longitudinalmente tutto l'edificio. Il disegno dei fronti riporta in facciata il passo dei 13 setti per ciascun blocco, attraverso una sequenza ripetuta di logge su tutte e tre le elevazioni. Intercettando agevolazioni statali previste per il risparmio energetico, il progetto ha avviato un processo di trasformazione che si è sviluppato attraverso l'individuazione di temi dell'involucro, degli innesti e della pianta libera (Fig. 9).

Il primo tema ha riguardato il ridisegno delle due facciate longitudinali dell'edificio e l'invenzione di una 'scatola' lignea di mediazione tra l'interno e l'esterno: un armadio a taglio termico incastrato nel nuovo serramento, che si costituisce come nuovo elemento funzionale e di filtro termico e visivo con l'esterno: la sezione costruttiva (Fig. 10), che prevede un giunto a taglio termico, associata a quella dei nuovi serramenti in alluminio garantisce l'efficienza energetica richiesta dalle nuove normative, in quanto risponde ai requisiti

necessari per l'ottenimento dell'accreditamento della clinica. L'introduzione di una balaustra in vetro accresce la dimensione verticale dell'edificio serrato dalla partitura regolare dei setti, conferendo nuova profondità alle logge.

Il secondo tema ha riguardato l'innesto di un nuovo elevatore, legato alla necessità di separare flussi dei pazienti da quelli del pubblico, posizionato all'esterno dell'edificio e in prossimità del doppio blocco di scale. Il tema 'moderno' della separazione tra struttura e involucro ha guidato la trasformazione ed è stato declinato attraverso lo slittamento in avanti dell'involucro vetrato e la creazione di un nuovo vestibolo a tripla altezza (Fig. 11), contenuto tra la nuova facciata e il filo della struttura originaria: il nuovo 'interstizio' è diventato il centro nevralgico della distribuzione dell'edificio in cui il nuovo elevatore, connesso con i livelli orizzontali preesistenti tramite passerelle aeree, funge da nuovo elemento / insegna dell'edificio, mentre il nuovo telaio strutturale è divenuto il supporto integrato dei pannelli fotovoltaici.

L'ultimo tema ha riguardato la trasformazione di un'ala al piano terra dell'edificio in RSA (Fig. 12) per una tipologia di servizio rivolta a persone anziane richiedenti una assistenza di lungo periodo: una speciale forma di co-housing ha dato vita a un progetto che, adottando le opportunità della pianta libera, ha coniugato il tema della ripetizione, segnato dai setti che scandiscono le logge, con quello dello spazio libero per la socialità dei pazienti, attraverso la disposizione nello spazio di 'oggetti abitati', ribassati e staccati dal soffitto, per le funzioni ambulatoriali e intorno ai quali si innervano spazi e percorsi (Fig. 13).

L'esperienza della trasformazione della Clinica Santa Barbara ha enucleato alcuni nodi teorici e operativi che riguardano, da un lato, l'attitudine dell'architettura moderna e contemporanea a costituirsi come supporto concettuale e fisico di processi aperti e continuativi di trasformazione e, dall'altro, la speciale condizione che deve accompagnare il rapporto tra committenza e progettista all'interno di una dinamica di riscrittura continua delle domande e dei temi.

Gli interventi eseguiti (Fig. 14), accompagnati da una politica di graduale innovazione degli ap-

parecchi elettromedicali hanno prodotto una progressiva riduzione della curva dei consumi energetici. Il cambiamento dell'involucro ha ridotto del 5% i consumi pari a 50.000 kW equivalenti a 2,7 tonnellate di CO₂, mentre il fotovoltaico installato ha consentito l'autoconsumo e un conseguente risparmio di emissioni di 19,5 tonnellate annue di CO₂; infine il cambiamento dei sistemi di climatizzazione e degli impianti di diagnostica ha generato un abbattimento dei consumi medi del 10% pari a una riduzione di 5,4 tonnellate annue di CO₂.

Postprodurre il Moderno: esperienze internazionali | Strategie di mitigazione dell'albedo solare nell'architettura esistente e interventi di retrofit energetico quali driver di rigenerazione urbana e architettonica del Moderno informano le buone pratiche sul tema indagato, adottando strumenti, metodi e linguaggi propri della progettazione architettonica per una riconversione in chiave energetica dei loro principi compositivi. I progetti che di seguito si riportano costituiscono gli esempi di una prima stagione contemporanea di consapevolezza rispetto al tema: redatti tutti tra il 2009 e il 2017, essi si muovono entro un campo concettuale e operativo che guarda al lavoro di innesto, manomissione, aggiunta (Russo, 2021) come orizzonte di una architettura delle relazioni.

Scrivono Giacomo Borella (2008, p. 52): «Del tema dell'architettura fatta per aggiunta, scavo, manomissione di un'altra che già esiste, mi interessa soprattutto il lato 'minore', il suo costringere a riconoscere limiti e soglie concrete, smarcandosi dal piano astratto; la sua capacità di obbligare a collaborare o confliggere con altri pezzi di realtà, a impastarsi con essi, la necessità implicita di studiarli, perlustrarli, comprenderli. [...] In questo contesto, la pratica di trasformazione, riforma, manutenzione del costruito può anche costituire un'occasione per riattivare quella capacità di riconoscere la molteplicità delle scale possibili». È nell'alveo di questo campo critico che sono stati selezionati i progetti che seguono.

Mantra delle proposizioni corbusiane e potenziale orizzonte operativo per i lastrici solari delle nostre città, il tetto giardino è il tema del progetto SINTHe Green Roof (2009), di Alexis Rochas (Fig.

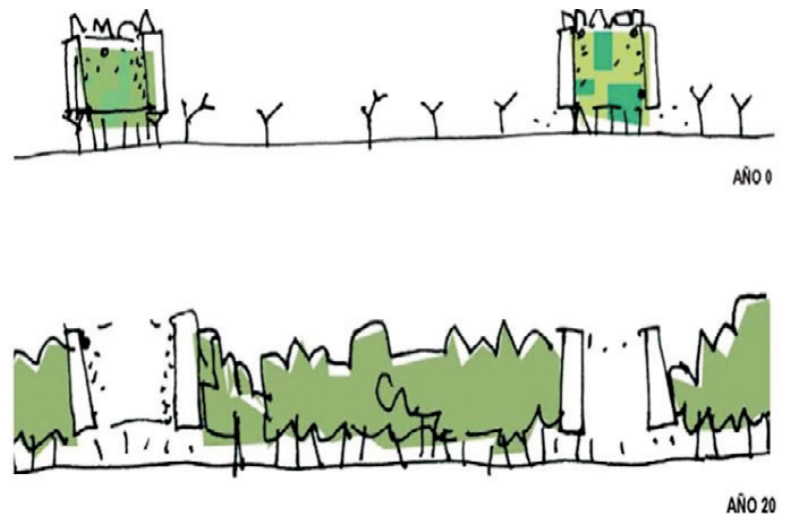
15) con il Southern California Institute of Architecture, per il The Flat, un complesso residenziale per la Downtown di Los Angeles. Si tratta di un progetto sperimentale che vede l'uso di elementi modulari prefabbricati per la composizione di giardini sospesi sui tetti degli edifici, capaci di produrre un abbassamento della temperatura degli spazi sottostanti di 15 °C.

L'impianto architettonico contribuisce alla protezione della superficie del tetto, favorisce la raccolta delle acque meteoriche (il cui 80% è riutilizzato dal progetto per l'irrigazione della vegetazione ospitata) e si costituisce come un vero e proprio ecosistema autosufficiente che comprende un'ampia varietà di piante dagli aromi da cucina alle piante da frutto; i prodotti del giardino vengono consumati e gli scarti a loro volta riutilizzati come compost, garantendo così la circolarità del ciclo produttivo. La sezione del giardino, organizzata per terrazzamenti, configura una nuova agorà pubblica e collettiva aperta sul paesaggio urbano, disposta sopra il tetto di un edificio residenziale privato.

Si tratta di un progetto di sovrascrittura architettonica virale, che guarda al corpo preesistente come elemento necessario per generare nuova forma e nuovo significato. Una strategia di riuso adattivo di parti inattive messa in atto attraverso le tecniche 'additive' dell'innesto architettonico, come nei casi della Cité de la Mode et du Design (2012) di Parigi, di Jakob e Mac Farlane o della base del sottomarino (2012) a Saint-Nazaire di Sola Moralès, entrambi progetti che guardano alle infrastrutture in obsolescenza come occasioni di riconversione architettonica (Guidetti and Massarante, 2021).

Il tema della separazione tra struttura portante e forma dello spazio informa progetti in cui sottrazione e addizione di volumi divengono occasione per la realizzazione di logge e spazi coperti all'interno dell'edificio pronti a ospitare nuove funzioni e nuovi spazi-soglia tra l'interno e l'esterno capaci di produrre retrofit energetici di raffrescamento degli spazi.

È il caso del progetto di concorso per la Casa della Cultura e della Memoria (2013) di Caienna (Fig. 16), nella Guyana Francese, in cui Lacaton e



Figg. 2, 3 | Eco-Bulevar de Vallecas (2004-07) in Madrid, designed by Belinda Tato, Jose Luis Vallejo, and Diego García-Setién (credits: E. P. Doiztua, 2007; B. Tato, J. L. Vallejo, and D. García-Setién, 2007).

Vassal+Le Roux scelgono di non costruire un nuovo edificio (Zabalbeascoa, 2019) ma di trasformare uno preesistente migliorandone le prestazioni energetiche e funzionali anche a partire dal concetto di 'consapevolezza climatica' (Carnovas and De Andrés, 2023) legata allo studio del contesto sudamericano. Nel progetto gli autori utilizzano la sottrazione e l'aggiunta come dispositivo per realizzare logge di ombreggiatura e canali di raffrescamento naturale dell'aria nel suo passaggio tra l'esterno e l'interno, così da ridurre al minimo l'impatto degli impianti di condizionamento e le emissioni di CO₂. Anche in altri loro progetti – di cui i più noti sono la trasformazione

delle facciate degli edifici residenziali nel Grand Parc (2017) a Bordeaux e della Torre Bois le Petre (2011) a Parigi (Oswalt and Vassal, 2019) – gli architetti francesi fondano le scelte compositive a partire dall'orientamento solare e dalla protezione dall'irraggiamento: le istanze energetiche e il linguaggio architettonico divengono elementi di uno stesso processo progettuale in cui la flessibilità d'uso degli elementi nel tempo guarda al ciclo delle stagioni, indicando nella transitorietà delle configurazioni spaziali una interessante traiettoria del tema della transizione energetica.

Un altro progetto emblematico è la ristrutturazione del complesso condominiale a schiera al

Paseo de Gracia (2004) di Barcellona (Fig. 17), a firma dello Studio catalano OAB. Il nuovo fronte continuo, affidato a un telaio / facciata in ghisa, esposto a Sud-Ovest, scostato di un metro da quello originario, diviene dispositivo di raffrescamento della facciata stessa e degli elementi finestrati preesistenti, attraverso un nuovo spazio loggiato e un sistema di persiane lignee mobili e orientabili a seconda delle ore della giornata e del percorso del sole. La nuova facciata, oltre a migliorare le prestazioni energetiche dell'edificio, definisce un fronte unico che unisce i due corpi delle palazzine in origine distaccate tra loro, introducendo una nuova proporzione che meglio risponde alla scala urbana richiesta dalla strada e dal contesto.

Riflessioni conclusive: postprodurre il Moderno e orizzonti per una ricerca

Le riflessioni sin qui condotte aprono spazi per l'individuazione di orizzonti di ricerca che guardino alla esperienza del '900, e alla sua eredità, come una risorsa rinnovabile e un patrimonio da rigenerare. Dai suoi presupposti teorici e filosofici ai suoi modelli di sviluppo, sino alle città e al suo patrimonio costruito che ne sono stati espressione, la ricerca architettonica è chiamata oggi a un approccio olistico che guardi alle interconnessioni dei sistemi e alle ragioni che originano la sua domanda sociale e a censire le risorse sul terreno per una loro riconversione virtuosa.

Occorre dunque favorirne una riconversione che contribuisca ad arrestare un consumo di suolo non più sostenibile. Dall'ingente volumetria costituita dall'edilizia residenziale al patrimonio produttivo dismesso, sino a quello architettonico pubblico e alle infrastrutture (Fig. 18), le discipline dell'Architettura e le strutture formative come Scuole e Università sono chiamate a mettere in campo strategie, intelligenze e competenze multidisciplinari che conducano verso gli obiettivi di un equilibrio ecosistemico: si tratta di un orizzonte di cui la neutralità energetica è uno degli aspetti strategici e in cui siamo chiamati a 'costruire case come se piantassimo alberi' (Pomazanna, 2024). Le città italiane – dopo le politiche e gli incentivi dei cosiddetti Ecobonus, che attendono il vaglio del tempo per valutarne gli esiti – necessitano, a giudizio di chi scrive, di un Piano di transizione architettonica e ambientale che veda le Università, le Istituzioni formative e gli Enti di ricerca puntare su alcuni temi e obiettivi strategici.

Il rapporto Architettura e Acqua. Nel settembre del 2022 esce nelle sale cinematografiche italiane 'Siccità', del regista Paolo Virzi, un film ambientato in una Roma distopica, desertificata, in cui non piove da 3 anni e in cui la mancanza d'acqua stravolge abitudini e relazioni tra le persone. In una città che muore di sete e di divieti si muove una umanità spaventata, inaridita quanto il suo spazio urbano, fatta di personaggi alla deriva e alla ricerca della propria redenzione. Secondo il regista⁷, il fatto che il Pianeta sembri destinato a diventare da una parte un luogo in cui si muore di sete e dall'altra un luogo dove si annega per le alluvioni si sta concretizzando, introducendo il tema di un film che allude molto bene alla nostra condizione contemporanea (Fig. 19).

Il film di Virzi ci svela quanto il rapporto con la risorsa acqua sia divenuto metafora della rapidità con cui si susseguono eventi e fenomeni di tra-

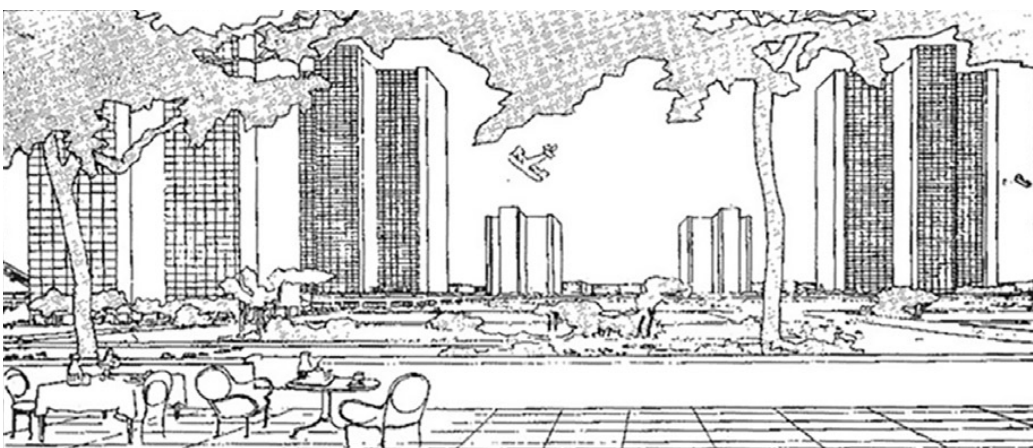


Fig. 4 | Stadio Allianz (2001-05) in Munich, designed by Gunther Vogt (source: allianz-arena.com).

Fig. 5 | Promenade Plantée (1993) in Paris, designed by Jacques Vergely and Philippe Mathieux (source: amc-archi.com).

Fig. 6 | Le Plan Voisin Manifesto de la Grande Ville (1925), designed by Le Corbusier (source: Le Corbusier, 1925).

sformazione ambientale; mentre mettiamo a punto dispositivi progettuali volti a una nuova, necessaria, permeabilità dei suoli urbani, la Città di Barcellona registra la più grande siccità della sua storia: una mancanza di piogge che perdura da oltre 40 mesi sta modificando il suo ecosistema, obbligando i suoi amministratori a politiche di razionamento che alterano le abitudini di vita dei cittadini catalani.⁸

Gli stessi paesaggi della terra arsa riguardano il nostro Paese, stretto tra esondazioni improvvise e prepotenti e lunghi periodi di siccità (Figg. 20, 21). Tale condizione ci dice che se da una parte abbiamo necessità di ri-naturalizzare i suoli, dall'altra siamo chiamati a progetti di architettura in grado di ottimizzare la raccolta delle acque, attraverso un suo immagazzinamento e un suo riutilizzo a diversi fini. Come nell'era pre-moderna, dove la forma dei tetti delle abitazioni e la presenza delle cisterne erano funzionali alla raccolta delle acque (Fig. 22), le città contemporanee chiamano l'Architettura a progetti in cui la non dispersione della risorsa acqua diventa domanda sociale e tema formale e funzionale.

Mai come in questo momento, dunque, Tecnologia, Ingegneria idraulica, Scienze del Paesaggio e Architettura necessitano di una nuova alleanza in grado di produrre forma ed epistemologia del progetto stesso: azioni in cui comportamenti atti a mitigare le cause e strategie volte a lavorare sugli effetti, appaiono come orizzonte progettuale e tematico unitario.

Architettura 'vegetale'. 'Costruiamo case come se piantassimo alberi' è l'aforisma con cui Cutwork Studio presenta il suo progetto ReHome (2022), un concept progettuale in cui modularità e prefabbricazione propongono un nuovo rapporto tra industria e natura (Fig. 23): transitorietà, reversibilità e riproducibilità in altri contesti di un concept guida, 'ibridato' dalle condizioni specifiche locali, informano una sperimentazione nata in Ucraina come risposta alla grande e repentina domanda abitativa connessa con l'attuale conflitto bellico. Il modo di concepire la prefabbricazione e la differente misura componibile dei moduli è in grado di produrre habitat per 'gemmazione' a seconda delle necessità, del tempo e delle stagioni, esattamente come avviene per gli elementi vegetali.

Ciò che appare innovativo di questa sperimentazione è la metafora del 'mettere a dimora' l'architettura, il guardare alle sue radici come un fatto ambientale necessario e non di origine speculativa, il pensare alla modularità in termini di specie; la flessibilità e la removibilità di alcuni degli elementi divisorii interni allude, inoltre, alla potatura dei rami, alla fioritura e alla caduta delle foglie; infine il trattamento delle superfici degli elementi strutturali favorisce l'attecchimento, come l'edera sulla corteccia degli alberi, di specie vegetali spontanee, dentro una nuova saldatura tra natura e produzione industriale a basso costo.

Questo approccio simbiotico tra vegetazione e costruito (Scalisi and Ness, 2022), tra ingegneria dei materiali e colonizzazione vegetale è oggi una frontiera innovativa che vede in alcune sperimentazioni la felice e fondamentale interazione tra discipline quali l'architettura del paesaggio, il design, la scienza dei materiali e la fitotecnologia.

Un tale concorso di saperi informa una seconda stagione di recenti sperimentazioni proget-

tuali quali ad esempio la ricerca Botanical Concrete, uno studio per favorire l'insediamento permanente della vegetazione sulle superfici in calcestruzzo (Büscher, Polster and Klussmann, 2022): l'inverdimento verticale delle strutture portanti intelaiate attraverso la colonizzazione di essenze crittogame è stato ottenuto tramite procedure e metodologie di trattamento del calcestruzzo (Polster and Klussmann, 2019) che oggi si offrono come opportunità di progetto nella rigenerazione delle ingenti costruzioni in calcestruzzo armato (Fig. 24) in abbandono o da riconvertire, ereditate dal '900 (Alterazioni Video, 2008).

Tale prospettiva si intreccia con la ricerca sull'incompiuto che censisce tutte le architetture e le infrastrutture in calcestruzzo mai finite, presenti sul territorio italiano (Licata, 2014). Lo stesso può dirsi per le facciate e per le coperture in cui la colonizzazione verticale e orizzontale delle superfici degli edifici esistenti delle nostre città sta conoscendo una stagione di interessanti sperimentazioni innovative.

Esempio è il progetto Garden in the Air (Scalisi and Ness, 2022), per il popolare quartiere Tres Barrios – Amate di Siviglia, in cui uno dei concept riguarda un giardino verticale realizzato con scatole lignee microforate ciascuna delle quali copre le unità esterne di climatizzazione appese sulla facciata contenendo vasi con piante irrigate dall'acqua di condensa delle stesse unità; o ancora la soluzione proposta da OMA, insieme a H. Schaudt, per la rigenerazione della copertura dello United States Post Office di Houston (2016) dove un bosco urbano sul tetto, giardini d'ombra e di frescura e orti di agricoltura urbana introducono uno spazio pubblico di 16.000 mq in cui i prodotti coltivati sul tetto vengono consumati e venduti all'interno dell'edificio stesso (Fig. 25), oppure la sperimentazione brasiliana di Chaves Coelho Leite, Gobatti e Gamba Huttenlocher (2022) che osserva la crescita spontanea di essenze vegetali a partire dal substrato con cui sono costruiti i tetti.

La ricerca condotta alle diverse latitudini tende a valorizzare le flore locali e le caratteristiche delle loro specie come risorse per i nostri lastrici solari: tetti giardino autosostenibili, frammenti di terzo paesaggio (Clément, 2005) che diventano occasioni e luoghi di finalità didattiche sul comportamento e i rapporti tra costruito e natura.

Dette ricerche guardano da un lato alla relazione tra il 'girato' della città del '900 e il ruolo che la vegetazione può avere nella sua post-produzione, dall'altro al basso costo realizzativo e mantenitivo che si offre come risposta democratica e fortemente accessibile anche a strati della popolazione meno abbiente, sviluppando così una prospettiva sociale della transizione ecologica. Esempi sono la Labri House a Hue (2022), dello studio vietnamita NKA (Fig. 26) o il recente Rooftop Catalogue di MVRDV (2021), progetti che mettono in scena 'soluzioni basate sulla natura' e il 'verde pensile urbano' (Bologna, Ghersi and Melli, 2022) come prospettiva concreta del ruolo della vegetazione nella qualità del progetto architettonico.

Altrettanto innovativa appare la frontiera delle sperimentazioni vegetali indoor. Esempio di queste ricerche è il progetto la Fabbrica dell'Aria messa a punto da PNAT – Project NATURE (2004), una ricerca universitaria multidisciplinare composta da botanici, agronomi, architetti e designer

nata come sperimentazione pratica delle ricerche condotte dal Laboratorio Internazionale di Neurobiologia Vegetale (LINV). L'obiettivo del progetto è migliorare la qualità dell'aria indoor attraverso la capacità delle piante di trattenerne e degradare le molecole inquinanti sia organiche che inorganiche (biossido di carbonio, composti dell'azoto, polveri sottili, ecc.), incorporandole nella propria biomassa. Si tratta dunque di un grande polmone verde indoor, una serra da interni dal carattere installativo che integra design, tecnologia, architettura degli interni e botanica entro un unico concept progettuale (Scalisi and Ness, 2022).

Gli esempi illustrati strutturano un discorso sulla 'scienza delle qualità' (Capra, 2018), una prospettiva in cui le complesse reti vegetali diventano schemi di organizzazione, visione e interpretazione sistemica della vita; e in cui «[...] l'evoluzione non è più vista come una lotta competitiva per l'esistenza, ma piuttosto come una specie di danza cooperativa in cui la creatività e l'emergere costante di novità sono le forze trainanti» (Capra and Mancuso, 2019, p. 14).

Le Torri d'Ombra. «L'ombra fa parte della realtà di quel corpo ed ha però il fascino dell'apparenza: è realtà in quanto effetto teoricamente prevedibile, matematicamente calcolabile, è apparenza in quanto legata all'imprevedibile verificarsi di altre circostanze – la battaglia del sole con le nuvole – che ne rendono precaria l'esistenza e l'intensità» (Venezia, 2015, p. 120). Il terzo orizzonte di ricerca è costituito dalla costruzione di dispositivi volti alla realizzazione di microclimi raffrescati attraverso l'architettura e i codici dei suoi linguaggi tradizionali.

Logge, oggetti, portici, schermature solari e deformazioni tettoniche del volume costruito sono i dispositivi di progetto per la produzione di nuovi climi negli spazi soglia tra l'interno e l'esterno degli edifici. Laddove gli edifici di nuova costruzione hanno indagato sperimentazioni linguistiche ormai codificate, l'orizzonte innovativo risulta, ad avviso di chi scrive, quello legato alla trasformazione dell'architettura esistente costruita a partire dal telaio Domino, da cui questo saggio ha preso le mosse e con cui si concludono le riflessioni sin qui condotte.

Ragioni storiche, legate ai loro climi, vedono i Paesi latini e aree geografiche alle latitudini mediterranee come i luoghi di maggiore sperimentazione. Il progetto Sardenya 356 (Fig. 27) nell'Eixample di Barcellona a firma di Atienza Maure Arquitectos ad esempio, guardando alle facciate con sistemi a traliccio e brise-soleil della tradizione catalana, propone sulla facciata principale dell'isolato esposta ad Ovest i temi che solitamente sono sviluppati su quelle posteriori degli isolati ottocenteschi del Piano di Cerdà: gallerie vetrate protette da persiane avvolgibili in legno, una volta aperte, formano logge continue lungo tutto lo sviluppo della facciata.

Questo sistema mediterraneo di ombreggiatura basato su persiane motorizzate, in pino montate su carpenteria in alluminio, si rifà alla tradizione legata alla 'persiana di Coderch': un sistema motorizzato consente l'apertura di porzioni della campata in altezza così da garantire la privacy e nello stesso tempo consentire l'ingresso della luce nella parte superiore. Il recupero di materiali semplici e naturali come il legno, associato a sistemi meccanizzati, l'articolazione di configura-

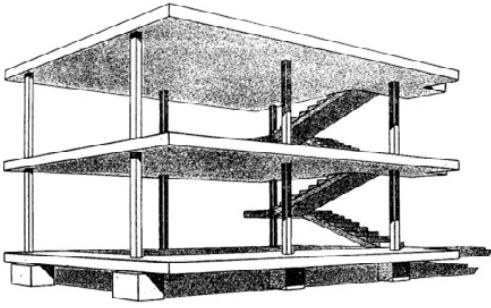


Fig. 7 | 'Domino' frame (1928), designed by Le Corbusier (credit: Le Corbusier, 1928).



Fig. 8, 9 | Transformation of the Santa Barbara nursing home (2010) in Gela, designed by Giuseppe Marsala and Gaetano Licata with Michele Cammarata (credits: M. Maniscalco; G. Licata, and G. Marsala, 2010).



zioni variabili e la capacità di modulare la temperatura interna degli ambienti a seconda delle stagioni iscrivono anche questo progetto in una nuova possibile altra 'tradizione moderna' (Solà-Morales, 1989), in cui la costruzione dell'ombra equivale alla costruzione dell'architettura.

L'excurus sopra delineato si conclude oltreoceano, in Argentina, con il caso studio dell'ampliamento dell'Università Cattolica di Santa Fe (Fig. 28), firmato dall'argentino Javier Mendiondo nel 2011. Si tratta di un intervento di addizione a una preesistenza in cui una nuova facciata a Est, su strada, è rivestita da un'intelaiatura schermante vegetale che connota il nuovo fronte, migliorando il clima all'interno delle aule: la struttura funziona come un giardino verticale contenendo al suo interno il sistema di irrigazione e di drenaggio delle varie e mutevoli – secondo il ciclo naturale delle stagioni – specie vegetali che ospita. Tale approccio si declina diversamente sul fronte opposto, prospiciente il patio, in cui la presenza di brise-soleil migliora la qualità del clima degli spazi interni e definisce dei profondi 'spazi soglia' dalla suggestiva connotazione luminosa che generano un'intensa atmosfera in cui si svolgono le principali attività di relazione interpersonale e di incontro tra i membri della comunità universitaria.⁹

È l'interazione, dunque, l'obiettivo di una ricerca che vede l'architettura come arte delle relazioni: relazioni tra discipline, saperi, competenze e materie diverse ed elementi differenti di cui è fatto il vivente. Una interazione in cui «[...] natura e arte, in eterno contrappunto, possono dimostrare che, per l'intelligenza umana, sia il seme che la pietra possono dare frutti. Ciò che dura in eterno sono le idee e la costituzione storica di quanto chiamiamo conoscenza: l'esperienza a dispo-

zione di un progetto, un futuro carico di speranza» (Mendes da Rocha, 2021, p. 79).

Today, the expression 'ecological transition'¹ has become part of the common lexicon, conveyed by the mass media and redounded by politics², and it has been at the centre of the global debate on the Planet's economic and development models for some years now. Its notion is undergoing a progressive semantic clarification that also concerns the scientific world and is helping to redefine the statutes of the sciences themselves, from the 'hard' sciences to the humanities and social sciences and its irruption into the Academies is generating a paradigm shift in the disciplines, in the wake of the research and studies conducted between the 20th and 21st centuries by the epistemologists of complexity, from Bateson (1977, 1979) to Prigogine and Stengers (1984), up to the recent research of authors such as Clément (2015), Moore (2017), Morin (2017), Morton (2019), and Wilson (2021)³. Its Implementation is facilitated by large allocations of financial resources within the budgets of European governments and policy plans, of which the ERP (European Commission, 2019a), the best-known are PNRR (MIMIT, 2023) and the PTE (CITE, 2022).

Several historians believe that, along with the industrial and the digital revolution, the ecological transition is among the phases of modern history that have most witnessed a convergence between political directions, economic investments and scientific research, and that it should be read and interpreted as a cultural transformation at all levels and in all sectors: interconnected, the ecological transition and the energy transition⁴ share

the lemma that identifies our age of transition (Barbero and Leonardi, 2017).

Within this framework, the energy transition involves disciplines and operational branches, among which architecture occupies a central and strategic role. The time targets of climate neutrality by 2050 and reduction of greenhouse gas emissions by 2030 (European Commission, 2019b, 2021) are today made binding by the recent data on global warming (global temperature increase of 3.2 °C by 2100) and those on primary energy consumption and production of CO₂ (Ritchie and Roser, 2020) and other climate-changing gases (IPCC, 2023).

These are complemented by land consumption figures that estimate demand for 230 billion square metres of new construction by 2060 (UN Environment and IEA, 2017). As we write, the European Parliament has passed the 'green homes' directive that sets new standards to reduce the environmental impact of Europe's housing stock, which is responsible for about 40% of energy consumption and 36% of CO₂ emissions (European Parliament, 2024). According to this directive, starting in 2030, all new residential buildings will have to be built to be carbon-neutral by 2050.

These horizons pose themes and questions to the architectural project that requires updating its statutes, starting from the new demands of the Planet and the balance of its ecosystem. This revision cannot be read as the mere application of specific technological requirements to known architectural and urban models, nor can the use of new technologies and innovative materials for energy performance be separated from a reformulation of compositional principles that enhance the architectural project within a possible new season capable of understanding and governing the com-

plexity of the contemporary condition (Butera, 2021).

The same can be said for cities and their repertoire of open spaces and elements constituting their landscapes and subjects. As González-Campaña, Lafaurie-Debany, and Rabazo Martin (2023, p. 36) write: «[...] Each period in history has had [...] its own challenges to face. After several decades of neglecting the city-nature relationship and cementing natural soils, we are faced with the need to reconsider the relationship between the built and natural elements (especially water, land and air), between landscape and architecture. It is well known that about 75% of the surface of our cities is paved, with materials that limit soil permeability and generate heat islands, and that by 2050 more than 68% of the world's population will live in cities which already consume 75% of our Planet's non-renewable resources, even though they cover only 3% per cent of the Earth's surface (UN, 2019)».

González-Campaña, Lafaurie-Debany and Rabazo Martin also remind us how today, the urban spaces of transition assign to soils and vegetation the ability to redesign their qualities based on themes such as global warming, vegetation as a temperature mitigator (Sciascia, 2023) and a renewed relationship between urban and rural based on agroecology (Sottile, 2022a). There are, in this sense, propositions that indicate as a horizon for the design of cities the planting of specific quantities of trees in urban areas⁵ (Sottile, 2022b), just as we are witnessing experiments that assign vegetation the role of an agent of climatic and formal transformation of urban spaces, capable of also working with the variable of time, understood today as an acquired and inescapable material of design.

Emblematic of this relationship with time is the installation of the Shell Mycelium – Degradation Movement manifesto (Fig. 1), exhibited at the MAP Project Space Festival in the 2017 edition of the Indian Kochi Muziris Biennale. Developed by

Architects Rahman, Areddia and Yassin, this project involved the creation of a prototype built from mycelium, the vegetative apparatus of mushrooms. Suggesting a sustainable alternative to traditional building models, the Biodegradable Pavilion poses, in a radical form, a reflection on the concept of temporariness and an osmotic relationship between architecture and life, becoming a metaphor for it through its programmed extinction and its temporary transit before becoming 'nature' again.

The transit of vegetal architectures also concerns the Eco Bulevar (2004-07) in Vallecas (Fig. 2), a project of generative osmosis between architecture and vegetation by the architects Belinda Tato, Jose Luis Vallejo and Diego Garcia Setién. It is an intervention to activate a new public space on the outskirts of Madrid where three cylindrical recyclable pavilions (made of recycled materials) act as aggregative spaces and bioclimatic devices. When the young trees, planted in dense grids of different densities, have grown enough to regulate the air bioclimatically, the three structures no longer needed for this function can be dismantled and reused in the activation of other places, leaving in their place open community spaces, understood as clearings within a forest (Fig. 3). The transferability of the principle and its repeatability in different contexts give this procedure the character of scientific experimentation and the project the role of activator of processes, cycles and ecosystems.

These and other experiments are producing degrees of 'energetic' and formal innovation in various cities, increasing the mitigation of climate and urban heat islands⁶, such as Gunther Vogt's Allianz Stadium car park project in Munich (2001-05; Fig. 4) which achieves three objectives, by covering the roof of the building with the same excavated earth: it includes the results of earth movements in the design process; it guarantees the insulation and natural cooling of the architectural space; it encourages the establishment of biodi-

versity through a garden entrusted to the spontaneous growth of local essences.

Other exemplary projects are the Promenade Plantée in Paris, the progenitor of green infrastructures, designed in 1993 by J. Vergely and P. Mathieux (Fig. 5), and the High Line (2000-19) by Comer and Oudolf. The two designers reconverted the decommissioned 1.5-mile railway line, suspended between Manhattan houses, into a linear park containing 500 different plant species. The projects mentioned above also find their theoretical and philosophical foundation in the paradigm of the 'wild' (Metta and Olivetti, 2019) and the co-evolutionary urban landscape (Dessi, 2023).

In the systemic perspective that the complexity of the energy transition requires, it seems necessary, however, to accompany this research by looking at the relationships between geographies and Planet's elements, even distant from each other, which refer back to Edward N. Lorenz (1963) and the so-called 'butterfly effect'; or the recent research by Jason Riggio et alii (2020) on the impacts of human actions on the African continent. The contemporary condition of 'transiting', therefore, calls for a new ecology, a new 'oikos-logos', a new discourse on the house understood as a built shelter and, in a more extensive sense, as the house-world of our ecosystem (Morton, 2020): a subject that may find some theoretical and philosophical antecedents in a critical rereading of the experience of Modern.

Ontology of Modern: a critical interpretation |

If the considerations outlined so far are valid for what concerns the design of the new – which for some time now has seen experimentation and research whose results are also widely reported in this journal – in an original research perspective, it appears helpful to investigate the strategies that the design discipline can deploy around the vast heritage of built architecture and urban spaces that we have inherited from the 20th-century, and

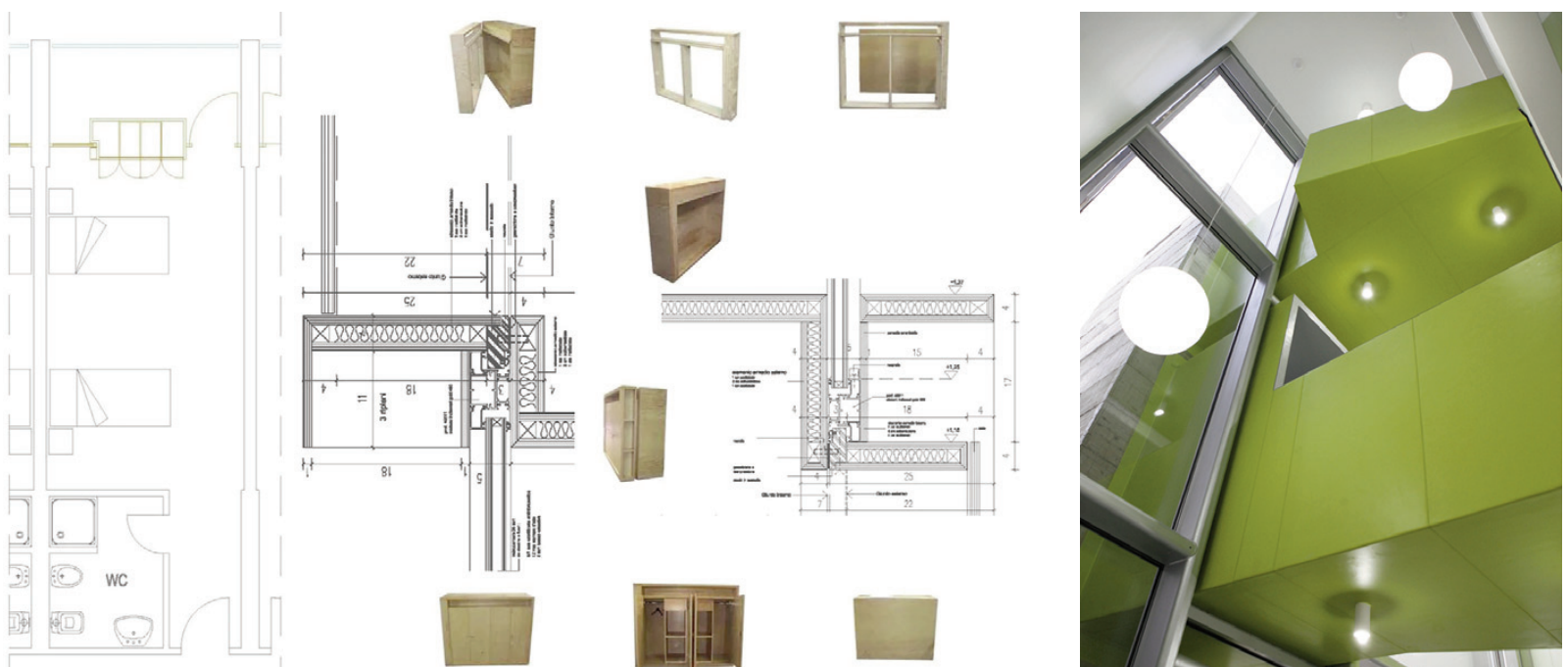


Fig. 10, 11 | Transformation of the Santa Barbara nursing home (2010) in Gela, designed by Giuseppe Marsala and Gaetano Licata with Michele Cammarata (credits: G. Marsala, G. Licata, and M. Cammarata, 2010; R. Collovà, 2010).

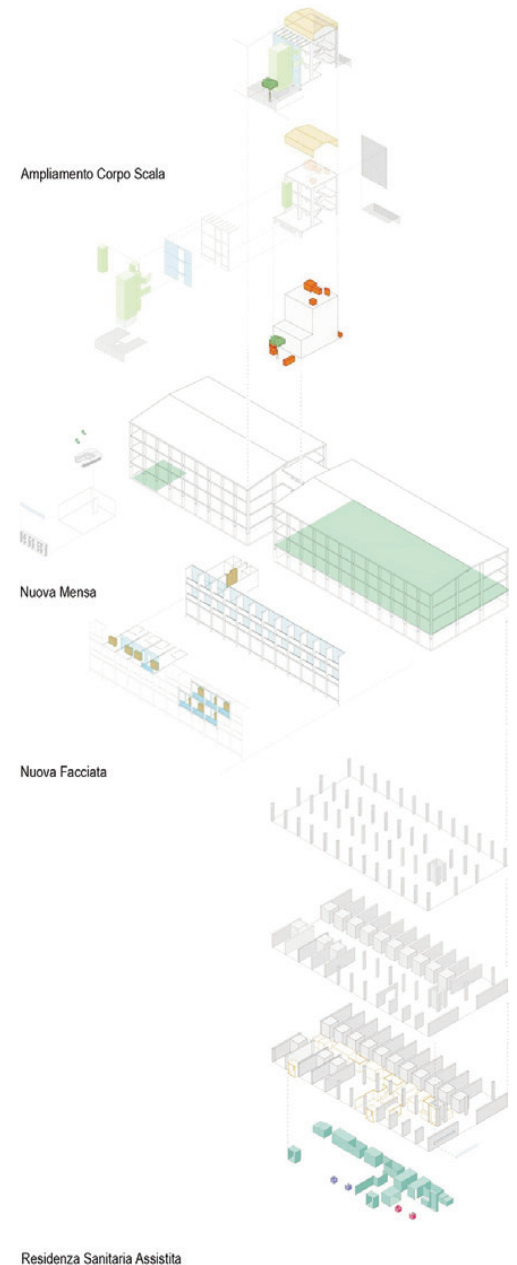


Fig. 12-14 | Transformation of the Santa Barbara Nursing Home (2010) in Gela, designed by Giuseppe Marsala and Gaetano Licata with Michele Cammarata (credits: I. Fera, 2010; G. Licata and G. Marsala, 2010).

which we commonly identify as the architecture of the modern city.

It starts from an analysis of the quantities and qualities of the built heritage produced by the 20th-century and the need for their reconversion that has in the energy transition the motor for a new operative season that finds its foundation in the authentically ecological and political reflections of Nicolas Bourriaud (2002) contained in his *Post-production – Culture as Screenplay – How Art Re-programs the World*. The French author describes our epoch as a time in which the artistic question is no longer posed in terms of ‘what new we can do’ but rather in terms of ‘what to do with what we already have’, and looks at the work of some contemporary artists who produce new meaning and new expression by leaning on and feeding off pre-existing bodies and artistic products.

Borrowing this perspective, we can look at the 20th-century architectural production as the ‘filming’ that the century left us and its ‘post-production’ as architectural overwritings that can re-

semanticise it in the light of the issues posed by the climate change crisis. It moves here from the conviction that the architecture of the Modern contains principles, contents and operative spaces that need to be re-investigated in the light of the current phase and that the theoretical assumptions that marked its initial season on the building as on the city have deposited a potential that still appears fertile, above all if it is seen as an interpretative key to the current historical contingency.

Today, Urbanism of the ‘redent’ (Fig. 6), the accessible construction industry, the compact block breaking up, the flows separation, the raising of buildings from the ground using pilotis, the freeing up of the ground to give room to vegetation, and the separation between the envelope and the framework in the building appear to be resources for architecture and cities that the 20th-century seems not to have elaborated to their full potential. They are reserves of value that deliver to the Modern – with its unexpressed legacy – opportunities to act on an ‘already made’ that de-

clines themes such as those of the threshold between the ‘inside’ and the ‘outside’, the generation of microclimates and new relations between architectural form and renewable energy sources, starting from its constituent principles combined with new technologies.

Such a perspective appears in some ways to contrast with the widespread perception of the modernity experience, in which the systemic crisis that the planet is going through today is blamed for the hyper-production of spaces and artefacts (buildings, roads, infrastructures, industrial agglomerates, etc.) and the lack of a new ability to create a new world. This is the thesis of the essay. We can identify some possible new skills within the systems and their folds that partially generated that crisis.

A further antecedent that relates us to his legacy is the contemporary condition of ‘transire’. According to Brunner, Conze and Koselleck (1972), the use of the predicate Modern is possible if contemporaries can think of their present time and its

concepts as the past of a present that is to come; this agrees with Charles Baudelaire's idea (1994) that modernity is transitory, fugitive, contingent.

Suppose modern architecture draws its sap from these assumptions right from its birth. In that case, modernity is also a condition of society (and of the soul) historically anchored in the development of cities in which the uprooting of man from his slow and safe context into the fast urban world of temporariness and uncertainty is taken to the extreme by industrialisation and the separation of production and product. This condition prompted Marshall Berman (1982) to define modernity as the state where everything solid dissolves into air. Similar reflections inhabit the research of Mario Perniola (1998), a philosopher of the intermediate and the transitory as a condition of existence itself, who, in a transit praise, pounces against what is incapable of transformation and remains identical to itself in a state of complete and obtuse fixity.

These concepts are also taken up today in the reflections on Design. In fact, «According to Andrea Trimarchi and Simone Farresin, the concept of transition is interesting because it implicates a situation of perpetual change – a dynamic state that we should probably live in today. The word becomes even more significant when accompanied by the adjective 'ecologic': while the term 'ecology' – which clearly represents a dimension for contemporary thought and life – is now taken for granted, the idea of transition [...] presupposes a constant adaptation, a kind of continuous movement that is more complex and significant than

the simple idea of transition understood as a passage from one point to another» (Valenti, Trimarchi and Farresin, 2023, p. 27).

Post-producing the Modern: for an operational interpretation of the energy transition of 20th-century architectural and urban heritage

Some principles of the modern, we said – the 'plan libre', the garden roof, vertical development, the separation introduced by the Domino frame (Fig. 7) between structure and enclosure, the liberation of the façade with the possibility of the insertion of continuous windows and brise soleil (Venice, 2015) – well summarised in the 5 points for a new architecture elaborated by Le Corbusier in 1926 (Bill, Boesiger and Stonorov, 1995) offer themselves today if interpreted in their original spirit, as elements available to the transformability of architectures built in the 20th-century (Licata, 2012) moving from the new social demands. Architectural themes such as overhangs, porticoes, courtyards, loggias, sunscreens, flexibility of use and variability of functions and three-dimensionality of roofs and facades are configured, for example, in the Miesian skin-and-skeleton type, as an open system of possible variants that look at the continuous transformability of the framed building and the 'transire dell'architettura', as a lesson that the Modern can provide us today for a critical interpretation of the ecological and energy transition.

The conversion of the Santa Barbara Clinic in Gela (Fig. 8) – a building realised by Bacigalupo and Ratti in 1962, based on a plan by Nizzoli and

Oliveri for the ANIC Eni residential city in the Marchitella district (Quaroni, 1962) realised in Sicily by Enrico Mattei – of which the essay writer was also the designer, together with Gaetano Licata (Marsala, 2018), is based on the principles mentioned above. It is a building composed of two rectangular blocks marked by a sequence of 12 bays of partitions and pillars: in the centre, two special bays join the two blocks, housing a double body of stairs (Merlo and Severati, 2006).

The plan follows the development of the bays that regulate the pitch and size of the repeated system of wards and outpatients' departments, served by a central distribution gallery that crosses the entire building longitudinally. The design of the façades shows the pitch of the 13 bays for each block through a repeated sequence of loggias on all three elevations. Taking advantage of state energy-saving subsidies, the project initiated a transformation process that developed by identifying envelope, graft and open plan themes (Fig. 9).

The first theme involved the redesigning of the building's two longitudinal façades and the invention of a wooden 'box' mediating between the interior and exterior: a thermal break cabinet set into the new window frame, which acts as a new functional element and a thermal and visual filter with the exterior: the construction section (Fig. 10), which includes a thermal break joint, combined with the new aluminium window frames, guarantees the energy efficiency required by the new regulations, meeting the requirements necessary to obtain the clinic's accreditation. Introducing a glass balustrade increases the vertical dimension of the building, which is tightened by the regular score of the partitions, giving new depth to the loggias.

The second theme involved the insertion of a new elevator, linked to the need to separate patient and public flows, positioned outside the building and close to the double staircase block. The 'modern' theme of separating structure and envelope guided the transformation. It was declined through the forward sliding of the glazed envelope and the creation of a new triple-height vestibule (Fig. 11), contained between the new façade and the edge of the original structure: the new 'interstice' has become the nerve centre of the building's distribution in which the new elevator, connected to the pre-existing horizontal levels using overhead walkways, acts as the new element / signature of the building, while the new structural frame has become the integrated support of the photovoltaic panels.

The last theme concerned the transformation of a wing on the ground floor of the building into a



Fig. 15 | SYNThE Green Roof (2009) in Los Angeles, designed by Alexis Rochas and SCI-Arch (source: archdaily.com).

Fig. 16 | Maison des Cultures et des Mémoires de Guyane (2013) in Guyane, designed by Lacaton & Vassal (credit: Lacaton & Vassal, 2013).

Fig. 17 | Refurbishment of an apartment building at 125-127 Passeig de Gràcia (2004) in Barcelona, OAB (credit: J. Guillamat, 2004).



Fig. 18 | High Line (2000-19) in New York, designed by James Corner Field Operations and Piet Oudolf (source: fieldoperations.net).

Fig. 19 | Drought (2022), movie by Paolo Virzi (source: amica.it).

nursing home (Fig. 12) for a type of service aimed at elderly people requiring long-term care: a particular form of co-housing gave rise to a project which, by adopting the opportunities of the free plan, combined the theme of repetition, marked by the septa punctuating the loggias, with that of free space for the sociality of the patients through the arrangement in space of 'inhabited objects', lowered and detached from the ceiling, for outpatient functions and around which spaces and paths are innervated (Fig. 13).

The experience of the transformation of the Santa Barbara Clinic has enucleated some theoretical and operational nodes that concern, on the one hand, the aptitude of modern and contemporary architecture to constitute itself as a conceptual and physical support of open and continuous processes of transformation and, on the other hand, the particular condition that must accompany the relationship between client and designer within a dynamic of continuous rewriting of questions and themes.

The interventions (Fig. 14), accompanied by a policy of gradual innovation of electromedical equipment, produced a progressive reduction in the energy consumption curve. The change in the building envelope reduced consumption by 5%, equal to 50,000 kW, equivalent to 2.7 tonnes of CO₂, while the photovoltaic system installed enabled self-consumption and consequent saving of 19.5 tonnes of CO₂ per year; finally, the change in air conditioning systems and diagnostic equipment generated a reduction in average consumption of 10%, equal to a decrease of 5.4 tonnes of CO₂ per year.

Post-producing the Modern: international experiences | Solar albedo mitigation strategies in existing architecture and energy requalification interventions as drivers of urban and architectural regeneration of the Modern inform the good prac-

tices on the theme investigated, adopting tools, methods and languages proper to architectural design for reconversion of their compositional principles in an energetic key. The projects that follow are examples of an early contemporary season of awareness of the theme: all drawn up between 2009 and 2017, they move within a conceptual and operational field that looks to the work of grafting, tampering, and adding (Russo, 2021) as the horizon of an architecture of relationships.

Giacomo Borella (2008) wrote that of the theme of architecture made by addition, excavation, and tampering with another that already exists, he is interested above all in its 'minor' side, its forcing to recognise concrete limits and thresholds, moving away from the abstract level; its capacity to force us to collaborate or conflict with other pieces of reality, to mix with them, the implicit need to study them, explore them, understand them; in this context, transforming, reforming and maintaining the built environment can also constitute an opportunity to reactivate that capacity to recognise the multiplicity of possible scales. It is within this critical field that the following projects have been selected.

The mantra of Corbusian propositions and the potential operational horizon for the solar pavements of our cities, the roof garden is the theme of the project SINThe Green Roof (2009) by Alexis Rochas (Fig. 15) with the Southern California Institute of Architecture for The Flat, a residential complex in Downtown Los Angeles. It is an experimental project using prefabricated modular elements to create suspended gardens on the roofs of buildings, capable of lowering the temperature of the spaces below by 15 °C.

The architectural layout contributes to the protection of the roof surface, promotes the collection of rainwater (80% of which is reused in the project to irrigate the vegetation housed) and constitutes a true self-sufficient ecosystem that in-

cludes a wide variety of plants from kitchen herbs to fruit plants; the garden's products are consumed, and the waste products are in turn reused as compost, thus guaranteeing the circularity of the production cycle. The garden section, organised by terracing, configures a new public and collective agora open to the urban landscape, arranged above the roof of a private residential building.

It is a viral architectural overwriting project that looks at the pre-existing body as necessary to generate new forms and meanings. It is a strategy of adaptive reuse of inactive parts implemented through the 'additive' techniques of architectural grafting, as in the cases of the Cité de la Mode et du Design (2012) in Paris by Jakob and Mac Farlane or the submarine base (2012) in Saint-Nazaire by Sola Moralès, both projects that look at obsolescent infrastructures as opportunities for architectural reconversion (Guidetti and Massarante, 2021).

The theme of separation between the load-bearing frame and the form of the space informs projects where subtraction and addition of volumes become an opportunity to create loggias and covered spaces within the building ready to host new functions, new spaces/thresholds between the interior and the exterior capable of producing energy retrofits to cooling the spaces.

This is the case of the competition project for the House of Culture and Memory (2013) in Cayenne (Fig. 16), French Guyana, in which Lacaton and Vassal+Le Roux chose not to construct a new building (Zabalbeascoa, 2019) but to transform an existing one by improving its energy and functional performance, also starting from the concept of 'climate awareness' (Canovas and De Andrés, 2023) linked to the study of the South American context. In the project, the authors use subtraction and addition to create shading loggias and channels for the natural cooling of the air as it pass-

es between the outside and the inside to minimise the impact of air conditioning systems and CO₂ emissions.

In their other projects – the best known of which are the transformation of the façades of the residential buildings in the Grand Parc (2017) in Bordeaux and the Bois le Petre Tower (2011) in Paris (Oswalt and Vassal, 2019) – the French architects also base their compositional choices on solar orientation and protection from radiation: energy demands and architectural language become elements of the same design process in which the flexibility of the use of elements over time looks to the cycle of the seasons, indicating in the transience of spatial configurations an exciting trajectory of the energy transition theme.

Another emblematic project is renovating the terraced condominium complex at Paseo de Gracia (2004) in Barcelona (Fig. 17) by the Catalan firm OAB. The new continuous façade, entrusted with a cast-iron frame / facade, facing south-west, one metre away from the original façade, becomes

a device for cooling the façade itself and the pre-existing window elements using a new loggia space and a system of mobile wooden shutters that can be oriented according to the time of day and the path of the sun. In addition to improving the building's energy performance, the new façade defines a single façade that unites the two bodies of the buildings that were initially detached from each other, introducing a new proportion that better responds to the urban scale required by the street and the context.

Concluding reflections: post-producing the Modern and horizons for research | The reflections conducted so far open up spaces to identify research horizons that look at the experience of the 20th-century and its legacy as a renewable resource and a heritage to be regenerated. From its theoretical and philosophical assumptions to its models of development, up to the cities and its built heritage that have been its expression, architectural research today is called upon to take a holistic

approach that looks at the interconnections of the systems and to the reasons that give rise to its social demand and to survey the resources on the ground for their virtuous reconversion.

Promoting a reconversion that contributes to halting land consumption that is no longer sustainable is necessary. From the massive volume of residential buildings to the disused productive heritage, up to the public architectural heritage and infrastructures (Fig. 18), the disciplines of Architecture and training structures such as Schools and Universities are called upon to deploy strategies, intelligence and multidisciplinary skills that lead towards the objectives of an ecosystemic balance: this is a horizon of which energy neutrality is one of the strategic aspects and in which we are called upon to 'build houses as if we were planting trees' (Pomazanna, 2024). According to the Authors, Italian cities – after the policies and incentives of the so-called Ecobonus, which await the scrutiny of time to assess their outcomes – need architectural and environmental transition



Fig. 20 | Flood in Lugo di Romagna (2023), Emilia Romagna, Italy (credit: A. Masiello, 2023).

Fig. 21 | The Po River (2022) in Reggio Emilia (credit: A. Fasani, 2022).

Fig. 22 | Piscina Mirabilis in Baicoli, Naples (source: fondoambiente.it).

Fig. 23 | ReHome (2022), designed by Cutwork Studio (credit: Cutwork Studio, 2022).



Fig. 24 | Unfinished multipurpose hall (1988) in Giarre (credit: G. Basilico).



Fig. 25 | Roof of the United States Post Office (2016) in Houston, designed by OMA (credit: S. Shigley, 2016).



Fig. 26 | Labri House (2022) in Hue, designed by NKA studio (credit: H. Oki, 2022).

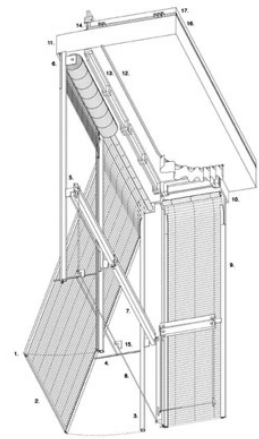


Fig. 27 | Sardinya 356 (2022) in Barcelona, designed by Atienza Maure Arquitectos (credit: Atienza Maure Arquitectos).



Fig. 28 | Santa Fe Catholic University Extension (2011) in Santa Fe, designed by Javier Mendiondo and Lucila Gómez (credit: F. Cairolí, 2011).

plans that will see universities, educational institutions and research agencies focus on specific strategic themes and goals.

The relationship between Architecture and Water. In September 2022, directed by Paolo Virzi, the movie 'Siccità' (drought) was released in Italian cinemas. The film is set in a dystopian, desertified Rome, where it has not rained for three years and where the lack of water disrupts people's habits and relationships. In a city dying of thirst and prohibitions, people are represented by characters adrift and searching for redemption and live frightened and parched in its urban space. According to the director⁷, the fact that the Planet seems destined to become a place where people die of thirst and can drown because of floods is coming true, introducing the theme of a film that alludes very well to our contemporary condition (Fig. 19).

Virzi's film reveals the extent to which the relationship with water has become a metaphor for the rapidity with which events and phenomena of environmental transformation follow one another while we are developing planning devices aimed at a new, necessary permeability of urban soils. At the same time as we write this essay, the city of Barcelona is experiencing the most significant drought in its history: a lack of rain that has lasted for more than 40 months is modifying its ecosystem, forcing its administrators to rationing policies that are altering the Catalan citizens' living habits.⁸

The same landscapes of parched land concern our country, squeezed between sudden and overpowering floods and long periods of drought (Fig. 20, 21). This condition tells us that while we need to re-naturalise the soils, we are also called upon to design an architecture capable of optimising water collection through its storage and reuse for several purposes. As in the pre-modern era, where the shape of house roofs and the presence of cisterns were functional for water collection (Fig. 22), contemporary cities call Architecture to projects in which the non-dispersion of the water resource becomes a social demand and a formal and functional theme.

Never like the present, Technology, Hydraulic Engineering, Landscape Science and Architecture need a new alliance capable of producing the form and epistemology of the project itself: actions in which behaviours aimed at mitigating the causes and strategies aimed at working on the effects appear as a unified design and thematic horizon.

'Plant' architecture. 'We build houses as if we were planting trees' is the aphorism with which Cutwork Studio presents its ReHome project (2022), a design concept in which modularity and prefabrication propose a new relationship between industry and nature (Fig. 23): transience, reversibility and reproducibility in other contexts of a guiding concept, 'hybridised' by specific local conditions, inform an experiment born in Ukraine as a response to the great and sudden demand for housing connected with the current war conflict. The way of conceiving prefabrication and the different modular sizes of the modules can produce habitats by 'budding' according to needs, time and seasons, precisely as with vegetal elements.

In this experimentation, the metaphor of 'planting' the architecture appears innovative, looking at its roots as a necessary environmental fact and

not of speculative origin, thinking of modularity in terms of species; the flexibility and removability of some of the interior partitioning elements also allude to the pruning of branches, flowering and the fall of leaves; finally, the treatment of the surfaces of the structural elements favours the rooting, like ivy on the bark of trees, of spontaneous plant species, within new welding between nature and low-cost industrial production.

Today, such a symbiotic approach between vegetation and the built environment (Scalisi and Ness, 2022), between material engineering and plant colonisation is an innovative frontier that sees in some experiments the successful and fundamental interaction between different disciplines such as landscape architecture, design, material science and phytotechnology.

This competition of knowledge informs a second season of recent design experiments such as, for example, the research Botanical Concrete, a study to encourage the permanent establishment of vegetation on concrete surfaces (Büscher, Polster and Klussmann, 2022): the vertical greening of framed structures through the colonisation of cryptogamic essences was achieved through concrete treatment procedures and methodologies (Polster and Klussmann, 2019) that today offer themselves as design opportunities in the regeneration of large reinforced concrete buildings (Fig. 24) in dereliction or need of reconversion, inherited from the 20th-century (Video Alterations, 2008).

This perspective is intertwined with research on the unfinished, which censures all the unfinished concrete architecture and infrastructures present on Italian territory (Licata, 2014). The same can be said for façades and roofs, where the vertical and horizontal colonisation of the surfaces of existing buildings in our cities is experiencing a season of interesting, innovative experimentation.

An example is the Garden in the Air project (Scalisi and Ness, 2022) for the popular Tres Barrios – Amate district in Seville, in which one of the concepts concerns a vertical garden made of micro-perforated wooden boxes, each of which covers the outdoor air-conditioning units hanging on the façade, containing pots with plants irrigated by the condensation water from the same units; or again the solution proposed by OMA, together with H. Schaudt, for the regeneration of the roof of the United States Post Office in Houston (2016) where an urban forest on the roof, shade and coolness gardens and urban agriculture gardens introduce a public space of 16,000 sqm in which produce grown on the roof is consumed and sold inside the building itself (Fig. 25), or the Brazilian experiment by Chaves Coelho Leite, Gobatti and Gamba Huttenlocher (2022) that observes the spontaneous growth of plant essences from the substrate with which the roofs are built.

The research carried out at different latitudes tends to valorise local floras and the characteristics of their species as resources for our solar pavilions: self-sustainable garden roofs, fragments of the third landscape (Clément, 2005) that become occasions and places for educational purposes on the behaviour and relationships between the built environment and nature.

On the one hand, these researches look at the relationship between the 'shot' of the 20th-century city and the role that vegetation can play in its post-production. On the other hand, they look at

the low cost of construction and maintenance as a democratic and highly accessible answer even to less affluent population strata, thus developing a social perspective of ecological transition. Examples are the Labri House in Hue (2022) by the Vietnamese studio NKAA (Fig. 26) or the recent Rooftop Catalogue by MVRDV (2021), projects that stage 'nature-based solutions' and the 'urban green roof' (Bologna, Ghersi and Melli, 2022) as a concrete perspective of the role of vegetation in the quality of architectural design.

Equally innovative is the frontier of indoor plant experiments. An exemplary example of this research is the Air Factory project developed by PNAT – Project NATURE (2004), a multidisciplinary university research project consisting of botanists, agronomists, architects and designers that was created as a practical experiment of the research conducted by the International Laboratory of Plant Neurobiology (LINV). The project aims to improve indoor air quality through the ability of plants to retain and degrade organic and inorganic pollutant molecules (carbon dioxide, nitrogen compounds, fine dust, etc.), incorporating them into their biomass. It is a large indoor green lung, an indoor greenhouse with an installation character that integrates design, technology, interior architecture and botany within a single design concept (Scalisi and Ness, 2022).

The examples illustrated structure a discourse on the 'science of qualities' (Capra, 2018), a perspective in which complex plant networks become patterns of organisation, vision and systemic interpretation of life and in which evolution is no longer seen as a competitive struggle for existence, but rather as a kind of cooperative dance in which creativity and the constant emergence of novelty are the driving forces (Capra and Mancuso, 2019).

The Shadow Towers. According to Francesco Venezia (2015), the shadow is part of the reality of that body, and yet it has the charm of appearance: it is reality insofar as it is a theoretically predictable effect, mathematically calculable; it is appearance insofar as it is linked to the unpredictable occurrence of other circumstances – the battle of the sun with the clouds – that make its existence and intensity precarious. The third horizon of this research is developing devices to realise cooled microclimates through architecture and the codes of its traditional languages.

Loggias, overhangs, porticoes, sunscreens and tectonic deformations of the built volume are the design devices for producing new climates in the threshold spaces between the interior and exterior of buildings. Where new buildings have investigated codified linguistic experiments, the innovative horizon is, in the writer's opinion, linked to the transformation of existing architecture built from the Domino frame, from which this essay has taken its cue and with which the reflections conducted thus far conclude.

Linked to their climates, historical reasons show that Latin countries and geographical areas in the Mediterranean latitudes are the places of the most excellent experimentation. The Sardenya 356 project (Fig. 27) in Barcelona's Eixample by Atienza Maure Arquitectos, for example, looks to the traditional Catalan trellis and brise-soleil façades and proposes on the main façade of the block facing west the themes usually developed on the rear

façades of the 19th-century blocks of the Piano de Cerdà: glazed galleries protected by wooden shutters, once opened, form continuous loggias along the entire length of the façade.

This Mediterranean shading system based on motorised shutters, made of pine mounted on aluminium carpentry, is based on the tradition of the ‘Coderch shutter’: a motorised system allows portions of the span to be opened in height to guarantee privacy and at the same time allow light to enter the upper part. The recovery of simple and natural materials such as wood, associated with mechanised systems, the articulation of variable configurations and the ability to modulate the internal temperature of the rooms according to the seasons also inscribe this project in a possible new ‘modern tradition’ (Solà-Morales, 1989), in which the construction of shade is equivalent to the construction of architecture.

The excursus outlined above concludes overseas, in Argentina, with the case study of the extension to the Catholic University of Santa Fe (Fig.

28), designed by Argentine architect Javier Mendiondo in 2011. This is an addition to a pre-existing building in which a new façade to the east, facing the street, is covered by a vegetal screening framework that characterises the new façade, improving the climate inside the classrooms: the structure functions like a vertical garden, containing within it the irrigation and drainage system of the various and changing – according to the natural cycle of the seasons – plant species it houses. This approach is declined differently on the opposite side, facing the patio, where the presence of brise-soleils improves the quality of the climate of the interior spaces and defines deep ‘threshold spaces’ with suggestive luminous connotations that become ‘intense atmosphere in which the main activities of interpersonal relations and meetings between members of the university community take place’.⁹

Interaction, therefore, is the objective of research that sees architecture as an art of relationships: relationships between disciplines, knowl-

edge, skills and different materials and elements of which the living is made. An interaction in which nature and art, in eternal counterpoint, can demonstrate that, for human intelligence, both seed and stone can bear fruit; what lasts in eternity are the ideas and the historical constitution of what we call knowledge: experience at the disposal of a project, a future full of hope (Mendes da Rocha, 2021).

Notes

1) According to the Treccani dictionary, ‘ecological transition’ is how human societies relate to the physical environment, aiming for more balanced and harmonious relationships within local and global ecosystems. In a more limited and concrete sense, a process of technological conversion aimed at producing fewer pollutants. For more information, see the webpage: [treccani.it/vocabolario/transition-ecology_\(Neologisms\)#](https://www.treccani.it/vocabolario/transition-ecology_(Neologisms)#) [Accessed 16 March 2024].

2) In 2021, the Ministry of Ecological Transition was established in Italy, absorbing the competencies of the former Ministry of the Environment.

3) These are Authors who, despite their different disciplinary specificities, are united by a holistic and systemic approach to interpreting complex systems.

4) According to the Treccani dictionary, ‘energy transition’ indicates a process of transformation of the framework for satisfying energy needs towards solutions characterised by a reduced environmental impact (with particular reference to emissions of greenhouse gases, GHG) and, more generally, by greater sustainability; Fundamental characteristics of this process are the transition towards a portfolio of energy sources predominantly based on the use of renewable resources, the diffusion of efficiency solutions in all uses of energy and, finally, the availability of carbon capture and sequestration solutions that make the sustainable use of fossil fuels possible. For more information, see the webpage: [treccani.it/enciclopedia/transition/#](https://www.treccani.it/enciclopedia/transition/#) [Accessed 16 March 2024].

5) The reference is to the proposal made by botanist Stefano Mancuso to plant 1 trillion trees by 2030. This proposal, which has received a lot of media hype, has generated a debate in scientific circles that has found both favourable opinions and numerous detractors; however, it is cashing in on the commitment of the G20 in Rome in 2021 to finance its realisation.

6) In this sense, see the work of landscape architects such as Corajoud (2010) or Oudolf (Oudolf and Kingsbury, 2013); for Nunes’ experiments, see the webpage: proap.pt/en/proap/team-3/joao-nunes/; for Tega Brain experiments, see the webpage: tegabrain.com/ [Accessed 12 April 2024].

7) For more information, see the webpage: capital.it/articoli/siccita-film-intervista-paolo-virzi-emanuela-fanelli-trailer/ [Accessed 21 April 2024].

8) For more information, see the webpage: wired.it/gallery/siccita-spagna-catalogna-barcellona-stato-di-emergenza/#:~:text=La%20comunit%C3%A0%20autono-

ma%20della%20Catalogna,emergenza%20per%20contenere%20la%20crisi [Accessed 21 April 2024].

9) For more information, see the webpage: archdaily.com/375523/catholic-university-of-santa-fe-extensions-javier-mendonzo-y-lucila-gomez [Accessed 16 March 2024].

References

Alterazioni Video (2008), “Manifesto Incompiuto siciliano | Sicilian Incompletion Manifesto”, in *Abitare*, n. 486, pp. 192-201. [Online] Available at: alterazionivideo.com/new_sito_av/projects/incompiuto.php [Accessed 21 April 2024].

Barbero, A. and Leonardi, E. (2017), “Il sintomo – Antropocene”, in Moore, W. J., *Antropocene o Capitalocene?*, Ombre Corte, Verona, pp. 7-25.

Bateson, G. (1979), *Mind and Nature – A Necessary Unity*, Dutton, New York.

Bateson, G. (1977), *Verso un’ecologia della mente*, Adelphi, Milano.

Baudelaire, C. (1994), *Il pittore della vita moderna*, Letteratura Universale Marsilio, Venezia.

Berman, M. (1982), *All that is Solid Melts into Air – The Experience of Modernity*, Simon and Schuster, New York.

Bill, M., Boesiger, W. and Stonorov, O. (1995), *Le Corbusier – Opera Completa*, Birkhauser, Basel.

Bologna, A., Ghersi, A. and Melli, S. (2023), “Lecture integrate per il verde pensile urbano – Codici espressivi e forme di natura | Integrated readings for the urban green roof – Expressive codes and forms of nature”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 11, pp. 114-123. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/11102022 [Accessed 16 March 2024].

Borella, G. (2008), “Il lavoro di aggiunta – Per un’architettura della manipolazione | The work of addition – For an architecture of manipulation”, in *Lotus International*, n. 133, pp. 52-57.

Bourriaud, N. (2002), *Postproduction – Culture as screenplay – How art reprograms the world*, Lukas & Sternberg, New York.

Brunner, O., Conze, W. and Koselleck, R. (eds), *Geschichtliche Grundbegriffe – Historisches Lexikon zur politisch-sozialen Sprache in Deutschland*, vol. 4, Klett-Cotta, Stuttgart.

Butera, F. M. (2021), *Affrontare la Complessità – Per governare la transizione ecologica*, Ed. Ambiente, Milano.

Büscher, L., Polster, R. and Klusmann, H. (2022), “Botanical concrete – Sperimentazione su substrati di cal-

cestruzzo per l’inverdimento verticale | Botanical concrete – Experimentation on concrete substrates for vertical greening”, in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 11, pp. 266-273. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/11242022 [Accessed 16 March 2024].

Canovas, A. and De Andrés, J. (2023), “Soluzioni locali per sfide globali – L’edilizia residenziale come catalizzatore della transizione ecologica | Solving global challenges locally – Collective housing as a catalyst for ecological transition”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 13, pp. 67-74. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1352023 [Accessed 16 March 2024].

Capra, F. (2018), *Leonardo e la botanica – Un discorso sulla scienza delle qualità*, Aboca, Sansepolcro (AR).

Capra, F. and Mancuso, S. (2019), *Discorso sulle erbe – Dalla Botanica di Leonardo alle reti vegetali*, Aboca, Sansepolcro (AR).

Chaves Coelho Leite, B., Gobatti, L. and Gamba Huttenlocher, I. (2022), “Tetti verdi subtropicali a bassa manutenzione – Verde spontaneo e profondità del substrato | Low-maintenance subtropical green roofs – Spontaneous vegetation and substrate depth”, in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 11, pp. 258-265. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/11232022 [Accessed 16 March 2024].

CITE – Comitato Interministeriale per la Transizione Ecologica (2022), *Piano per la Transizione Ecologica*. [Online] Available at: mase.gov.it/sites/default/files/archivio/allegati/PTE/PTE-definitivo.pdf [Accessed 16 March 2024].

Clément, G. (2015), *L’Alternativa ambiente*, Quodlibet, Roma.

Clément, G. (2005), *Manifesto del Terzo Paesaggio*, Quodlibet, Roma.

Corajoud, M. (2010), *Le paysage, c’est l’endroit où le ciel et la terre se touchent*, Actes Sud ENSP, Arles.

Dessi, A. (2023), “Camminare nel selvatico – Per una transizione verso un paesaggio coevolutivo | Walking into the wild – A transition to a co-evolutionary landscape”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 13, pp. 131-140. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/13112023 [Accessed 16 March 2024].

European Commission (2021), *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – ‘Fit for 55’ – Delivering the EU’s 2030 Climate Target on the way to climate neutrality*, doc-

ument 52021DC0550, 550 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021DC0550 [Accessed 16 March 2024].

European Commission (2019a), *Guidance for the Economic Reform Programmes 2020-2022 of the Western Balkans and Turkey*. [Online] Available at: neighbourhood-enlargement.ec.europa.eu/system/files/2019-06/erp_2020-2022_guidance_note.pdf [Accessed 16 March 2024].

European Commission (2019b), *Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – The European Green Deal*, document 52019DC0640, 640 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN [Accessed 16 March 2024].

European Parliament (2024), *Energy performance of buildings (recast) – European Parliament legislative resolution of 12 March 2024 on the proposal for a directive of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings (recast)*, COM(2021)0802 – C9-0469/2021 – 2021/0426(COD), P9_TA(2024)0129. [Online] Available at: europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2024-0129_EN.pdf [Accessed 21 April 2024].

González-Campaña, J., Lafaurie-Debany, N. and Rabazo Martin, M. (2023), “Realizzare paesaggi innovativi – Balmori Associates ridefinisce il rapporto uomo-natura per le città del futuro | Making innovative landscapes – Balmori Associates redefining the human-nature relationship for the cities of the future”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 13, pp. 31-42. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1322023 [Accessed 16 March 2024].

Guidetti, E. and Massarente, A. (2021), “Configurazioni, deformazioni, mutazioni – Criteri di analisi morfologica nel riuso adattivo | Configurations, deformations, mutations – Criteria of morphological analysis in adaptive reuse”, in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 9, pp. 82-91. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/982021 [Accessed 16 March 2024].

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2023), *Climate Change 2023 – Synthesis Report – Summary for Policymakers*, Switzerland. [Online] Available at: ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_SPM.pdf [Accessed 16 March 2024].

Oudolf, P. and Kingsbury, N. (2013), *Planting – A New Perspective*, Workman Publishing, New York.

Licata, G. (2014), *Maifinito*, Quolibet, Recanati.

Licata, G. (2012), “Trasformabilità moderna Architektur”, in Vass, A., Veit, S. and Feiersinger, E. (eds), *Bestand der Moderne – Von der Produktion eines architektonischen Werts*, Park Books, Zurich, pp. 40-59. [Online] Available at: iris.unipa.it/retrieve/e3ad8916-1acb-da0e-e053-3705fe0a2b96/2012_bestand%20der%20moderne%20licata%20page%2040_49.pdf [Accessed 16 March 2024].

Lorenz, E. N. (1963), “Deterministic Nonperiodic Flow”, in *Journal of the Atmospheric Sciences*, vol. 20, pp. 130-141. [Online] Available at: cdanfort.w3.uvm.edu/research/lorenz-1963.pdf [Accessed 16 March 2024].

Marsala, G. (2018) “Trasformare il Moderno – L’architettura della clinica Santa Barbara per la città ANIC ENI di Gela”, in *edA | Esempi di Architettura*, vol. 1, pp. 1-19. [Online] Available at: esempiarchitettura.it/sito/journal_pdf/PDF%202018/56.%20Marsala_EdA_2018_3.pdf [Accessed 16 March 2024].

Merlo, M. and Severati, C. (eds), *Edoardo Gallner – Architetture organiche per Enrico Mattei, 1954-1961 – Atti della Giornata di Studi (Roma, Gela, Pieve di Cadore) – 17 marzo 2005*, Cangemi Editore, Roma.

Mendes da Rocha, P. (2021), *La città per tutti*, nottetempo, Arcore (MB).

Metta, A. and Olivetti, M. L. (2020), *La città selvatica – Paesaggi urbani contemporanei*, Libria, Potenza.

MIMIT – Ministero delle Imprese e del Made in Italy (2023), *Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza*. [Online] Available at: mimit.gov.it/images/stories/documenti/PN-RR_Aggiornato.pdf [Accessed 16 March 2024].

Moore, W. J. (2017), *Antropocene o Capitalocene?*, Ombre Corte, Verona.

Morin, E. (2017), *La sfida della complessità*, Le Lettere, Milano.

Morton, T. (2020), *Noi, esseri ecologici*, Laterza, Bari. Morton, T. (2019), *Cosa sosteniamo? Pensare la natura al tempo della catastrofe*, Aboca, Santosepolcro (AR).

MVRDV (2021), *Rooftop Catalogue*, Rotterdamse Dakendagen, Rotterdam.

Pomazanna, A. (2024), “Cutwork Studio – ReHome, Ucraina / Ukraine”, in *Domus*, n. 1089, pp. 48-53.

Perniola, M. (1998), *Transiti – Filosofia e perversione*, Castelvecchi, Roma.

Polster, R. and Klusmann, H. (2019), “Moos auf Beton – BryoCrete”, in *Beton Bauteile 2020 – Entwerfen Planen Ausführen*, Bauverlag, Gütersloh, pp. 196-202.

Prigogine, I. and Stengers, I. (1984), *Order Out of Chaos – Man’s New Dialogue with Nature*, Bantam Books, New York. [Online] Available at: deterritorialinvestigations.wordpress.com/wp-content/uploads/2015/03/ilya_prigogine_isabelle_stengers_alvin_tofflerbookfi-org.pdf [Accessed 16 March 2024].

Quaroni, L. (1962), “La città residenziale ANIC a Gela | The ANIC residential town in Gela”, in *Urbanistica | Rivista Trimestrale, Organo Ufficiale dell’Istituto Nazionale di Urbanistica*, n. 35, pp. 89-104.

Ritchie, H. and Roser, M. (2020), “CO₂ emissions – How much CO₂ does the world emit? Which countries emit the most?”, in *OurWorldInData.org*, revised in January 2024. [Online] Available at: ourworldindata.org/co2-emissions [Accessed 16 March 2024].

Riggio, J., Baillie, J. E. M., Brumby, S., Ellis, E., Kennedy, C. M., Oakleaf, J. R., Tait, A., Tepe, T., Theobald, D. M., Venter, O., Watson, J. E. M. and Jacobson, A. P. (2020), “Global human influence maps reveal clear opportunities in conserving Earth’s remaining intact terrestrial ecosystems”, in *Global Change Biology*, vol. 26, issue 8, pp. 4344-4356. [Online] Available at: doi.org/10.1111/gcb.15109 [Accessed 16 March 2024].

Russo, M. (2021), “Innesto, manomissione, ricostruzione – Tre modelli di riuso adattivo | Addition, alteration, reconstruction – Three models of adaptive re-use”, in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 9, pp. 92-101. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/992021 [Accessed 16 March 2024].

Scalisi, F. and Ness, D. (2022), “Simbiosi tra vegetazione e costruito – Un approccio olistico, sistemico e multilivello | Symbiosis of greenery with built form – A holistic, systems, multi-level approach”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 11, pp. 26-39. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1122022 [Accessed 16 March 2024].

Sciascia, A. (2023), “Riscaldamento globale e città – L’incremento della vegetazione e la progettazione urbana tra non finito e paesaggio urbano | Global warming and cities – Increasing vegetation and urban planning between the unfinished and the urban landscape”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 13, pp. 43-56. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1332023 [Accessed 16 March 2024].

Solà-Morales, M. (1989), “Un’altra tradizione moderna – Dalla rottura dell’anno Trenta al progetto urbano moderno | Another Modern Tradition – From the Break of 1930 to the Modern Urban Project”, in *Lotus*, vol. 64, pp. 6-32.

Sottile, F. (2022a), *Dalla parte della natura – Capire gli ecosistemi per salvare il nostro futuro*, Slow Food Editore, Bra.

UN – United Nations (2015), *Transforming our World – The 2030 Agenda for Sustainable Development*, document A/RES/70/1. [Online] Available at: sdgs.un.org/2030agenda [Accessed 16 March 2024].

UN – Department of Economic and Social Affairs (2019), *World Population Prospects 2019 – Highlights*. [Online] Available at: population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_Highlights.pdf [Accessed 16 March 2024].

UN Environment and IEA – International Energy Agency (2017), *Towards a zero-emission, efficient and resilient*

buildings and construction sector – Global Status Report 2017. [Online] Available at: worldgbc.org/wp-content/uploads/2022/03/UNEP-188_GABC_en-web.pdf [Accessed 12 April 2024].

Valenti, A., Trimarchi A. and Farresin, S. (2023), “Design e pensiero ecologico – Le nuove narrative del progetto contemporaneo che mettono la Terra in primo piano | Design and ecological thinking – The new narratives of contemporary design placing Earth on centre stage”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 13, pp. 19-30. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1312023 [Accessed 16 March 2024].

Oswalt, P. and Vassal, J. P. (2019), “Designing the Brief – Jean-Philippe Vassal in Conversation with Philipp Oswald”, in *Projekt Bauhaus – Can Design Change Society?*, Berlin, pp. 64-73. [Online] Available at: archplus.net/en/archiv/english-publication/Can-Design-Change-Society/ [Accessed 16 March 2024].

Venezia, F. (2015), “Torre d’Ombre o l’architettura delle apparenze reali”, in *Firenze Architettura*, vol. 19, issue 2, pp. 120-137. [Online] Available at: doi.org/10.13128/FiAr-17653 [Accessed 16 March 2024].

Wilson, E. O. (2021), *Biofilia – Il nostro legame con la natura*, Piano B, Prato.

Zabalbeascoa, A. (2019), “Più grande, migliore e anche accessibile | Bigger, better and still affordable”, in *Domus*, n. 1034 pp. 424-429. [Online] Available at: lacatonvassal.com/data/documents/20190624-1647391904_DOMUS_1034.pdf [Accessed 16 March 2024].

ARTICLE INFO

Received	23 March 2024
Revised	17 April 2024
Accepted	27 April 2024
Published	30 June 2024

SOSTENIBILITÀ E TRANSIZIONE ENERGETICA

Prospettive per un approccio integrato al Patrimonio costruito

SUSTAINABILITY AND ENERGY TRANSITION

Perspectives for an integrated approach to the built heritage

Davide Del Curto, Andrea Garzulino, Anna Turrina

ABSTRACT

La transizione energetica del costruito è un processo fondamentale per la riduzione delle emissioni di gas serra e la conseguente mitigazione degli effetti prodotti dal cambiamento climatico. Affrontare questa sfida richiede un approccio globale e multidisciplinare che consideri gli aspetti tecnologici, architettonici, ambientali, sociali e culturali con il medesimo interesse. Tuttavia il dibattito si concentra sulle nuove costruzioni ad emissioni zero e politicamente come il Superbonus 110% hanno promosso interventi di adeguamento mirati esclusivamente al raggiungimento di determinate caratteristiche energetiche. Il contributo discute l'importanza di attribuire il corretto ruolo alla sostenibilità, chiarendo il punto di partenza e mettendo in luce i risultati raggiunti pur attraverso approcci spesso conflittuali.

The energy transition of the built environment is a fundamental process for reducing greenhouse gas emissions and mitigating the effects of climate change. Addressing this challenge requires a comprehensive and multidisciplinary approach that considers technological, architectural, environmental, social and cultural aspects with the same level of interest. However, the debate focuses on new zero-emission buildings, while policies such as the Italian 110% Superbonus have promoted retrofitting interventions aimed exclusively at achieving specific energy characteristics. The contribution discusses the importance of attributing the correct role to sustainability, clarifying the starting point and highlighting the results achieved through often conflicting approaches.

KEYWORDS

patrimonio costruito, transizione energetica, sostenibilità, dichiarazioni ambientali, crediti di carbonio

built heritage, energy transition, sustainability, environmental declarations, carbon credits

Davide Del Curto, Architect and PhD, is a Full Professor of Conservation at the Department of Architecture and Urban Studies (DASTU), Politecnico di Milano (Italy). He conducts research activities mainly in restoration design and preventive conservation of the built heritage, focusing on the interior environment in historic buildings, 20th-century architecture and architecture and landscape in the Alps. E-mail: davide.delcurto@polimi.it

Andrea Garzulino, Architect and PhD, is a Researcher in Conservation at the Department of Architecture and Urban Studies (DASTU), Politecnico di Milano (Italy). He participates in research on the conservation and valorisation of architectural heritage and archaeological sites, with a particular focus on the issues of documentation and management of cultural heritage and energy adaptation of the built environment. Mob. +39 340/48.34.685 | E-mail: andrea.garzulino@polimi.it

Anna Turrina is an Architect and PhD Candidate in Architectural Heritage Conservation at the Department of Architecture and Urban Studies (DASTU), Politecnico di Milano (Italy). Her thesis investigates the relationship between Restoration and Sustainability from the perspectives of Historic Preservation, green conservation and corporate sustainability for Cultural Heritage. Mob. +39 333/95.48.323 | E-mail: anna.turrina@polimi.it



In Italia il costruito storico rappresenta una parte significativa del Patrimonio architettonico e culturale e il suo efficientamento costituisce un aspetto cruciale della transizione energetica nazionale come processo fondamentale per ridurre le emissioni di gas serra e mitigare gli effetti dovuti al cambiamento climatico (Buda et alii, 2021; Garzulino, 2020). L'Italia possiede un vasto e prezioso complesso di Beni storici, stimato nel 2019 dall'ENEA in circa 5,6 milioni di unità di cui 3,2 milioni sono gli immobili residenziali costruiti prima del 1945. In aggiunta, circa il 50% del Patrimonio residenziale attuale, 7 milioni di edifici, è stato edificato prima del 1970 (Camera dei Deputati, 2020) e quindi anteriormente al primo dispositivo normativo, la Legge 30 marzo 1976 n. 373 (Tab. 1). Si tratta di un Patrimonio edilizio di grande valore architettonico e culturale ma anche molto energivoro e inquinante: secondo i dati del Parlamento Europeo le costruzioni producono il 36% delle emissioni di CO₂ e utilizzano oltre il 40% dell'energia totale (Dulian, 2024).

Gli edifici storici, in particolare, consumano in media il doppio dell'energia rispetto agli immobili costruiti dopo gli anni 2000 e presentano elevati costi di gestione, dovuti alla scarsa efficienza energetica e alla necessità di garantire adeguate condizioni di comfort interno. Intervenire su questa tipologia di immobili risulta sempre complesso, ancor di più se le operazioni sono volte a migliorare le caratteristiche energetiche dell'involucro, rendendo pertanto indispensabile un approccio integrato e globale che tenga in considerazione gli aspetti tecnologici, architettonici, costruttivi e culturali (Bertini, 2022).

Malgrado le numerose sfide (Carbonara, 2015) il processo di transizione energetica per il costruito deve confrontarsi sia con le esigenze di tutela sia con il significato di sostenibilità, aprendo a ulteriori riflessioni. Il recente aggiornamento dei Criteri Ambientali Minimi (Ministero della Transizione Ecologica, 2022) per l'edilizia e i dati pubblicati dal Green Building Council Italia (GBCI, 2023) sull'adozione dei protocolli di certificazione sostenibile sottolineano come gli edifici storici vengano spesso inseriti nel dibattito con una posizione marginale e subordinata prevalentemente ai criteri per le nuove costruzioni.

L'intenzione di integrare i crediti energetici a una visione più ampia del parametro di sostenibilità si riduce ai pochi edifici vincolati, mentre il Patrimonio non tutelato si trova ad affrontare direttamente e senza difese un processo di adeguamento volto al solo raggiungimento della prestazione, particolarmente a seguito dell'adozione di politiche e incentivi mirati, come il Superbonus 110% (Decreto Legge 19 maggio 2020 n. 34), introdotto nel 2020 e in attuale via di ridimensionamento.

In questo ampio e complesso quadro si aggiungono la proposta di revisione della Energy Performance of Building Directive (EPBD) nell'ambito del pacchetto 'Fit for 55' (Dulian, 2024) al fine di raggiungere l'obiettivo della 'neutralità climatica' entro il 2050. Il settore civile dovrà dare un contributo rilevante, con una drastica riduzione delle emissioni attraverso interventi di riqualificazione profonda accompagnati da una verifica della sostenibilità ambientale tramite evidenze di processo riconosciute. In questo scenario anche il Patrimonio storico-architettonico, in particolare quel-

lo degli immobili residenziali, sarà interessato da massicci interventi di efficientamento energetico per ridurre la distanza dagli edifici moderni e avvicinarsi agli standard di un parco immobiliare a emissioni zero già entro il 2030-2035.

Partendo dall'evoluzione del concetto di miglioramento energetico del costruito in Italia il contributo discute l'impatto del processo di transizione energetica in relazione alle recenti politiche e direttive europee, mettendo in luce le criticità riscontrate e i risultati raggiunti, nonché la necessità di intervenire a livello globale attraverso approcci integrati che attribuiscono alla sostenibilità, non solo ambientale ed economica, ma anche sociale e culturale, il ruolo principale all'interno del processo.

Il processo di transizione energetica | La necessità di intervenire con maggior incisività a livello energetico sul costruito ha spinto l'allora Ministero per i Beni e le Attività Culturali e per il Turismo (MiBACT) a promuovere la redazione di un importante documento, le 'Linee di indirizzo per il miglioramento dell'efficienza energetica nel Patrimonio culturale' (Battisti et alii, 2015): esso si configura come il primo riferimento sul tema dell'efficientamento degli edifici storici rivolgendosi principalmente ai professionisti e agli Istituti di tutela con l'obiettivo di descrivere, esemplificare e valutare gli interventi di miglioramento del comportamento energetico (Pracchi and Buda, 2020). Il testo, partendo da disposizioni normative nazionali ed europee come, ad esempio, la Legge 9 gennaio 1991 n. 10, il Decreto Legislativo 19 agosto 2005 n. 192 e la Direttiva 2010/31/UE (The European Parliament and the Council of the European Union, 2010), affronta gli aspetti connessi al tema raccogliendo indicazioni per una diagnosi energetica non limitata agli edifici designati ufficialmente come Bene culturale.

Nella stessa direzione si muove la norma UNI EN 16883:2017 che, nonostante strutturi una procedura rigorosa di valutazione e selezione degli interventi di efficientamento per il costruito, soffre di eccessiva complessità nella costruzione del processo di pianificazione e, pertanto, risulta di difficile applicazione su larga scala (Leijonhufvud, Broström and Buda, 2021; Buda et alii, 2022).

Entrambi i documenti forniscono comunque strumenti che mostrano grandi potenzialità per orientare maggiormente la scelta delle soluzioni, ma rimangono linee guida non obbligatorie con una conseguente scarsa replicabilità. Va ricordato, inoltre, che per gli edifici vincolati ai sensi del Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio (Decreto Legislativo 22 gennaio 2004 n. 42), è possibile individuare con precisione i perimetri entro cui intervenire dal punto di vista energetico, con facoltà di derogare alle prescrizioni e ai requisiti imposti. Nonostante il rallentamento del processo di transizione, tali possibilità proteggono indubbiamente il Patrimonio architettonico da eventuali effetti negativi sulla conservazione delle proprie caratteristiche distintive, mentre il costruito non tutelato deve affrontare direttamente il processo di transizione senza alcuna protezione, dovendo rispettare rigorosamente i parametri prestazionali stabiliti nel caso di interventi di miglioramento energetico.

In questo quadro si inerte la revisione della EPBD attualmente vicina all'adozione: in estrema sintesi e da quanto recentemente pubblicato da parte della Commissione Europea (Cuffe and

Schieder, 2024), l'accordo prevede che gli Stati membri debbano garantire una riduzione dell'energia primaria utilizzata negli edifici residenziali di almeno il 16% entro il 2030 e in un range compreso tra il 20 e il 22% entro il 2035. Sui requisiti minimi di prestazione energetica, inoltre, è previsto l'intervento sul 16% degli edifici non residenziali con le prestazioni peggiori entro il 2030 e sul 26% degli immobili con le prestazioni peggiori entro il 2033 con l'obiettivo generale di raggiungere un parco immobiliare a emissioni zero entro il 2050 (Tabb. 2, 3).

Quest'ultima versione è frutto di numerose proposte avanzate a partire dalla prima EBPD del 2010 seguita dalla seconda del 2018 e la revisione prevede nuove modalità di certificazione delle prestazioni energetiche e una serie di esoneri che si applicherebbero, ad esempio, a monumenti, edifici di pregio, luoghi di culto, immobili a uso temporaneo o con superficie inferiore a 50 mq. In attesa che tale revisione venga effettivamente adottata e gli Stati definiscano le relative strategie nazionali è ipotizzabile l'intervento su circa 2,5 milioni di edifici residenziali e su circa 1 milione di immobili pubblici in Italia entro il 2035. Queste stime ridefiniscono quelle realizzate dall'Associazione Nazionale Costruttori Edili (ANCE, 2023) solo pochi mesi fa e che vedevano coinvolti nel processo tra gli 1,4 e gli 1,8 milioni di edifici suddivisi in egual misura tra condomini e unità residenziali.

Nel panorama così delineato si inseriscono alcuni strumenti di sgravio fiscale e, in particolare, il cosiddetto Superbonus 110%, che ha permesso detrazioni fiscali del 110% sulle spese sostenute per le operazioni di efficientamento (SuperEcobonus) e/o miglioramento sismico (SuperSismabonus) attraverso il meccanismo dello sconto in fattura o della cessione del credito (Camera dei Deputati, 2022; Del Curto, 2021). Concentrandosi qui solo sul SuperEcobonus è interessante riportare una sintesi dei dati forniti dall'Agenzia Nazionale Efficienza Energetica in riferimento agli anni 2021 e 2022 (ENEA, 2022, 2023): i cantieri attivati sono passati da circa 92.000 a 352.000 evidenziando una netta crescita anche dal punto di vista degli investimenti, rispettivamente 15,5 e 46,3 miliardi di euro.

Entrambi i periodi riportano una suddivisione analoga delle attività sulle differenti tipologie di edificio: dal punto di vista numerico nel 2021 gli interventi di miglioramento energetico hanno riguardato per il 15% gli edifici condominiali, per il 52% gli edifici unifamiliari e per il 33% le unità immobiliari indipendenti. In termini di investimento, il 48% è stato impiegato per operazioni sui condomini, il 33% sugli edifici unifamiliari e il 19% sulle unità immobiliari indipendenti con importi medi rispettivamente di circa € 543 mila, € 108 mila e € 96 mila; nel 2022 la suddivisione percentuale varia leggermente, mentre gli investimenti medi sono cresciuti del 10% circa rispetto all'anno precedente.

Nonostante i dati riferiti al 2023 non siano ancora consolidati è possibile intravedere una netta diminuzione di nuovi cantieri, circa 109.000 e poco al di sopra di quelli attivati nel 2021, ma con un investimento di ben 42,4 miliardi di euro (Figg. 1-4). Dal punto di vista della tipologia di intervento, i due anni in esame riportano dati molto omogenei che confermano l'attenzione all'efficientamento dell'involucro esterno dell'edificio, seguito dall'ammodernamento dell'impianto termico

(Tab. 4). Infine tra le attività sull'involucro spiccano, in entrambi i periodi, la coibentazione delle pareti verticali, l'isolamento di tetti e soffitti disperdenti e la sostituzione dei serramenti, sia per costo totale che per risparmio energetico annuo (Tabb. 5, 6).

Operatori economici e sostenibilità | Se parlare di sostenibilità e transizione energetica implica abbandonare le logiche parziali per incentivare sistemi che integrino molteplici aspetti, diventa necessario approfondire un secondo fenomeno che riguarda le strategie degli operatori economici coinvolti nel dibattito e capire in che misura gli strumenti normativi e volontari stiano orientando il settore verso uno scenario più sostenibile. Da una decina di anni (Carbonara, 2021) si assiste a una rapida trasformazione delle pratiche aziendali che si traduce in un rafforzamento degli impegni ambientali e nella ricerca di prodotti e servizi con performance sempre più evidenti e trasmissibili. I motivi sono duplici: da un lato il green marketing ha assunto un ruolo centrale nel conferire competitività e qualità agli operatori economici (Iraldo and Mellis, 2020), dall'altro il sistema normativo ha contribuito a rendere le aziende e le imprese più consapevoli degli aspetti ambientali associati alle loro attività.

Tra i vari strumenti che promuovono la sostenibilità ambientale dei processi edilizi, i Criteri Ambientali Minimi (CAM; Ministero della Transizione Ecologica, 2022) per l'edilizia svolgono un ruolo di guida centrale nella definizione dei requisiti minimi per la progettazione e la realizzazione di opere edilizie pubbliche nel contesto italiano. A una distanza di ben otto anni dal primo protocollo di certificazione degli edifici storici GBC-HB (Lucchi, Boarin and Zuppiroli, 2016), il concetto di sostenibilità applicato al Patrimonio storico viene inserito a tutti gli effetti nell'ultimo aggiornamento dei CAM del 2022, con un ampliamento del campo di applicazione che integra anche gli edifici vincolati.

Di nuova introduzione sono anche i parametri relativi ai materiali da costruzione in termini di contenuto minimo di riciclato, biodegradabilità, eco-compatibilità, basso contenuto di composti organici volatili e tracciabilità. Infine la promozione dell'innovazione e della sostenibilità si traduce con l'adozione di criteri premianti per l'utilizzo di tecnologie innovative e di materiali a basso impatto ambientale che coinvolgano il prodotto o il servizio lungo l'intero ciclo di vita.

Sulla scia di questo aggiornamento si riscontra un fenomeno sempre più crescente legato alla richiesta di certificazioni ambientali di prodotto; ed è qui che la ricerca di materiali dotati di 'conformità CAM' non coincide con la chiarezza delle dichiarazioni di prodotto disponibili sul mercato. Nonostante il pacchetto di norme della famiglia ISO 14020:2023, recentemente aggiornate, fornisca una serie di linee guida per tutte le dichiarazioni ambientali, dai report aziendali alle certificazioni rilasciate da Enti terzi, resta ancora poco trasparente il processo legato alle autodichiarazioni secondo la norma UNI ISO 14021:2021 e dei marchi di qualità ecologica associati ad alcuni tipi di prodotti. Tra tutti, lo schema internazionale EPD, nato nel 1977, è oggi il più diffuso sul territorio europeo ed efficace nel proporre un pacchetto informativo sulla percentuale di materiale riciclato.

Tuttavia questo tipo di strumenti volontari ha

Period of construction	Stock	% on the 2019 stock	Stock increase over the period	Years of age of buildings
before 1918	2,150,000	17.3	2,150,000	more than 106 years
1919-1945	3,530,000	28.3	1,380,000	between 105 and 79 years
1946-1960	5,190,000	41.7	1,660,000	between 78 and 64 years
1961-1970	7,160,000	57.5	1,970,000	between 63 and 54 years
1971-1980	9,140,000	73.4	1,980,000	between 53 and 44 years
1981-1990	10,430,000	83.8	1,290,000	between 43 and 34 years
1991-2000	11,230,000	90.2	800,000	between 33 and 24 years
2001-2010	12,187,000	97.9	957,000	between 23 and 14 years
2011-2019	12,453,000	100.0	266,000	less than 13 years

Energy Performance Certificates	[%]
A4	4.7
A3	1.9
A2	2.4
A1	2.8
B	3.1
C1	5.1
D	10.2
E	15.6
F	23.9
G	30.3

Energy Performance Certificates	[%]
A4	1.3
A3	1.1
A2	1.9
A1	3.1
B	6.2
C1	11.1
D	16.6
E	15.3
F	15.7
G	27.7

Tab. 1 | Periods of construction of residential buildings in Italy (source: Camera dei Deputati, 2022; adapted by the Authors, 2024).

Tab. 2 | Trend of Energy Performance Certificates (APE) issued in 2022 for the residential sector (source: ENEA, 2023; adapted by the Authors, 2024).

Tab. 3 | Trend of Energy Performance Certificates (Italian APE) issued in 2022 for the non-residential sector (source: ENEA, 2023; adapted by the Authors, 2024).

un carattere esclusivamente informativo verso il cliente senza indicare una valutazione di preferibilità o un parametro minimo ambientale che il prodotto debba rispettare (Sposito and Scalisi, 2019). Tra i parametri introdotti dagli stessi CAM sfugge, infatti, una revisione dei materiali e prodotti tradizionali del cantiere conservativo, ancora altamente tossici e in attesa di validazione nel più ampio Regolamento europeo REACH sulle sostanze chimiche (European Commission, 2006). Lo dimostra un rapido confronto tra le due versioni del documento, quella del 2017 e del 2022: le percentuali di contenuto di riciclato rimangono invariate così come le categorie di prodotti.

Lo sforzo di introdurre nuovi parametri atteso dagli operatori economici che operano nell'ambito della conservazione dei Beni culturali rimane vano a causa dell'assenza di criteri ambientali obbligatori per le sostanze tossiche destinate alle superfici storiche, in primis fra tutte i solventi e biocidi che, ancora largamente in uso, necessiterebbero di restrizioni maggiori relative agli ultimi ag-

giornamenti del REACH (Tabb. 7, 8). Se da un lato, quindi, non esistono standard o parametri univoci che regolino la circolazione di materiali tradizionali e innovativi per il cantiere, dall'altro la velocità con cui la normativa si aggiorna non corrisponde alle richieste di mercato. Le aziende si trovano dunque libere di adottare comunicazioni ambientali slegate da concreti strumenti di verifica.

Per limitare il fenomeno del greenwashing, ad Aprile 2024 è stato adottato il Regolamento Europeo sui Prodotti Sostenibili (ESPR – Ecodesign for Sustainable Products Regulation; European Commission, 2022) che introduce diverse novità per la progettazione e la commercializzazione di prodotti cosiddetti 'green': tra le principali innovazioni, è previsto un sistema di etichettatura armonizzato e un Passaporto Digitale dei Prodotti (Digital Product Passport – DPP) che promuove l'allineamento delle aziende a partire dal 2025, ovvero quando le prime informazioni verranno rese disponibili; il DPP diventerà successivamente obbligatorio per un primo gruppo di prodotti nel 2027.

Un secondo e ultimo binario su cui si muovono numerose strategie aziendali per la neutralità climatica riguarda le iniziative di Corporate Social Responsibility (Cortés, Traxler and Greiling, 2023), o meglio di Corporate Climate Claims che vengono sostenuti dalle aziende attraverso l'acquisto di crediti di carbonio rilasciati da un mercato volontario; si tratta di una pratica piuttosto diffusa (Trouwloon et alii, 2023) che prevede una compensazione delle emissioni da parte degli operatori del settore utilizzando crediti di carbonio di alta qualità che supportano progetti legati alla tutela della biodiversità.

Questo tipo di operazione potrebbe richiamare il concetto di 'being less bad is not being good' (McDonough and Braungart, 2002) dato che non impedisce alle aziende di continuare a introdurre sul mercato prodotti più o meno inquinanti attraverso l'offerta di una compensazione 'a buon mercato'; un secondo rischio è quello di generare prodotti e servizi impropriamente green incentivando il fenomeno di carbonwashing. Guardando ai futuri scenari, un cambio di rotta potrebbe essere supportato dalla futura direttiva sui Green Claims (European Commission, 2023) che eliminerà definitivamente le autodichiarazioni e l'utilizzo di terminologie green prive di certificazioni sul ciclo di vita dei prodotti.

Conclusioni | Gli scenari attuali e i processi avviati a livello nazionale e internazionale evidenziano la centralità e il ruolo fondamentale della riqualificazione energetica del Patrimonio edilizio con l'obiettivo di proseguire il percorso di decarbonizzazione e di mitigazione degli effetti del cambiamento climatico. I risultati del SuperEcoBonus, tuttavia, devono portare a nuove riflessioni e ad alimentare un dibattito (Della Torre, 2010) che, ancora oggi, tende a concentrarsi solo sugli aspetti tecnologici e prestazionali, senza aprire a una più ampia trattazione sulla compatibilità e sostenibilità. Gli interventi realizzati nell'ambito delle recenti misure di sgravio fiscale costituiscono la più estesa e irripetibile sperimentazione di efficientamento del costruito in Italia e forniscono dati utili per una prima valutazione degli esiti e per indirizzare le scelte future nella direzione voluta dall'Europa con la recente revisione della EPBD.

Un iniziale esame può essere svolto a livello semplicemente numerico: se considerassimo infatti attendibili le ricostruzioni che vedrebbero coinvolti tra i 3 e i 4 milioni di edifici, il settore edilizio si troverebbe in forte difficoltà nel portare a termine il processo negli anni che ci separano dal 2035. Nonostante l'elevata quantità di cantieri avviati, il potenziale annuo del settore si attesta attorno al 1% del parco immobiliare, ben lontano dalle necessità programmate. Inoltre è importante sottolineare come non emergano i criteri adottati nella fase di selezione degli interventi.

Sebbene le citate 'Linee di indirizzo per il miglioramento dell'efficienza energetica nel Patrimonio culturale' MiBACT e la UNI EN 16883:2017 propongano approcci e metodologie che coinvolgono molti aspetti distintivi del costruito, l'attenzione viene indirizzata verso i parametri di trasmissione e al conseguente doppio salto di classe. La sostenibilità, che dovrebbe guidare il processo di transizione energetica, non sembra emergere con la dovuta forza dalle informazioni raccolte e, al contrario, sarebbe anche difficile da sostenere.

Siamo ormai consapevoli dei danni prodotti dal Superbonus 110% a livello economico, così come delle relative anomalie, contraddizioni e ricadute negative (Gotta, Mecca and Rebaudengo, 2023) e anche se il miglioramento dell'efficienza energetica raggiunto da alcuni edifici risulta innegabile, tuttavia, il rinnovamento ha coinvolto solo il 4% degli immobili residenziali italiani senza adottare un approccio multidisciplinare e integrato nelle scelte. In aggiunta, i sistemi e i materiali impiegati – su tutti quelli per la coibentazione e protezione degli edifici – sono basati su processi con scarse prestazioni e ambizioni ambientali, pertanto molto impattanti se considerassimo il loro intero ciclo di vita. Infine è complesso valutare l'impatto sociale e culturale di queste iniziative, in cui il ruolo della comunità, dei cittadini e dei gestori degli immobili è fondamentale.

Nella riqualificazione energetica degli edifici di valore storico-architettonico si predilige intervenire sul comportamento dell'utente, grazie a riflessioni sulle temperature, sul riscaldamento e raffrescamento selettivo, sull'aerazione controllata e sulla dotazione di strumenti intelligenti di controllo (Gaspari et alii, 2022) che garantiscono effetti positivi sul consumo di energia e un basso impatto sull'edificio. La stessa strategia andrebbe estesa al costruito in rapporto al contesto geografico, al fine di ottenere effetti più importanti e tangibili dal punto di vista energetico e della sostenibilità complessiva.

Risulta fondamentale sottolineare qui come l'intento di decarbonizzazione e di ridurre la domanda energetica, con conseguente diminuzione delle emissioni di gas serra, si riesca a concretizzare non solo grazie a un intervento diretto sulle prestazioni dell'involucro degli edifici esistenti. In aggiunta e a integrazione degli approcci più conservativi che, agendo sul comportamento, gestione e regolazione del sistema nella sua totalità, garantiscono una maggiore attenzione verso le peculiarità degli edifici, un superamento e una semplificazione delle problematiche possono essere raggiunti grazie alla sostituzione delle fonti fossili per lo più utilizzate nei processi di riscaldamento e raffrescamento degli edifici.

I sistemi di produzione di energia tramite pannelli fotovoltaici hanno dimostrato la loro utilità nella riduzione di utilizzo di energia da fonti tradizionali anche in contesti con una elevata stratificazione di epoche, come nella maggior parte dei centri storici italiani (De Medici, 2021; Lucchi and Schito, 2023). I progetti di ricerca e le sperimentazioni per il costruito sono ormai numerosi e hanno messo in luce potenzialità, criticità (Polo López, Lucchi and Franco, 2020) e, soprattutto, gli effettivi benefici sul bilancio energetico attraverso procedure sempre più definite e controllabili (Lucchi and Agliata, 2023).

Con il medesimo obiettivo di intervenire sulla tipologia di fonte energetica e non direttamente sulla prestazione si inseriscono le Comunità Energetiche Rinnovabili (CER) per superare le difficoltà legate all'intervento di miglioramento energetico di edifici eterogenei per materiali, tecniche costruttive, epoche di costruzione, stratificazioni, stato di conservazione e uso. Le CER possono potenzialmente svolgere un ruolo cruciale, contribuendo in modo significativo nella direzione identificata dall'Europa per la riconversione e autosufficienza energetica del territorio. Ciononostante è necessario

promuovere un modello di sviluppo che adotti approcci integrati e multidisciplinari in grado di favorire, anche parzialmente, l'utilizzo di fonti energetiche alternative senza incorrere nelle criticità già riscontrate per il Patrimonio costruito, ma a un'altra scala (Basti, Misceo and Di Giuseppe, 2023; Franco and Casanova, 2023).

In Italy, historic buildings represent a significant part of the architectural and cultural Heritage, and their efficiency enhancement is a crucial aspect of the national energy transition as a fundamental process to reduce greenhouse gas emissions and mitigate the effects of climate change (Buda et alii, 2021; Garzulino, 2020). Italy possesses a vast and valuable historical heritage complex, estimated by ENEA in 2019 to be about 5.6 million units, of which 3.2 million are residential properties built before 1945. In addition, about 50% of the current residential Heritage, 7 million buildings, were built before 1970 (Camera dei Deputati, 2020) and, therefore, prior to the first regulatory device, Legge 30 marzo 1976 n. 373 (Tab. 1). This is a building heritage of significant architectural and cultural value but also very energy-consuming and polluting. According to data from the European Parliament, buildings produce 36% of CO₂ emissions and use over 40% of total energy (Dulian, 2024).

Historic buildings, in particular, consume, on average, twice as much energy as buildings built after the year 2000 and have high running costs due to poor energy efficiency and the need to ensure adequate internal comfort conditions. Intervening in this type of building is always complex, even more so if the operations aim to improve the envelope's energy characteristics, thus making an integrated and global approach that considers technological, architectural, constructional, and cultural aspects indispensable (Bertini, 2022).

Despite the several challenges (Carbonara, 2015), the energy transition process for the built environment must confront both the requirements of protection and the meaning of sustainability, opening up further reflection. The recent revision of the Minimum Environmental Criteria (Ministero della Transizione Ecologica, 2022) for buildings and the data released by the Green Building Council Italy (GBCI, 2023) on the adoption of sustainable certification protocols emphasise how historic buildings are often brought into the debate with a marginal role and subordinate mainly to the criteria for new buildings.

The intention to integrate energy credits into a broader vision of the sustainability parameter is reduced to the few listed buildings. At the same time, the unprotected heritage is directly and undefendably faced with a process of adaptation aimed only at achieving performance, particularly following the adoption of targeted policies and incentives, such as the 110% Superbonus (Decreto Legge 19 maggio 2020 n. 34), introduced in 2020 and currently being scaled down.

Added to this broad and complex framework is the proposed revision of the Energy Performance of Building Directive (EPBD) as part of the 'Fit for 55' package (Dulian, 2024) to achieve 'climate neutrality' by 2050. The civil sector will have to make a significant contribution, with a drastic reduction of emissions through deep renovation and verifi-

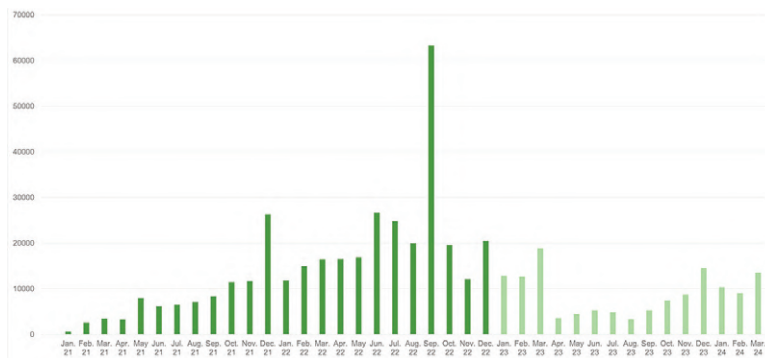


Fig. 1 | Construction yards started monthly from January 2021 to March 2024; the information in light green still needs to be consolidated (source: ENEA, 2022, 2023; adapted by the Authors, 2024).

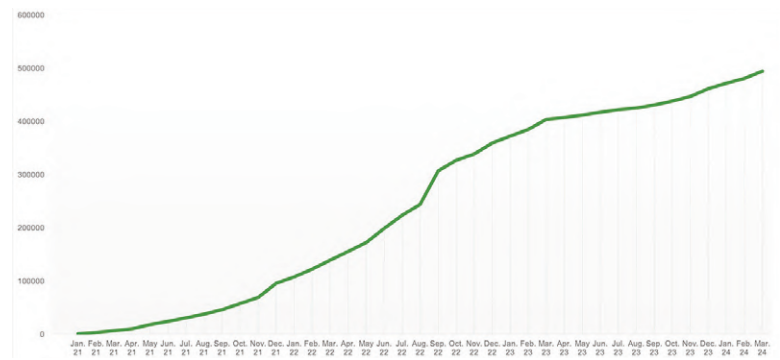


Fig. 2 | The Trend of construction yards started in January 2021 and ended in March 2024 (source: ENEA, 2022, 2023; adapted by the Authors, 2024).

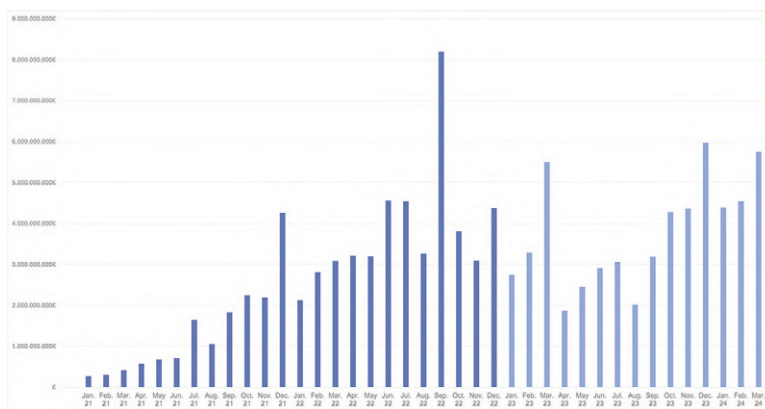


Fig. 3 | Monthly investment [€] per month from January 2021 to March 2024; the information in light blue is not yet consolidated (source: ENEA, 2022, 2023; adapted by the Authors, 2024).

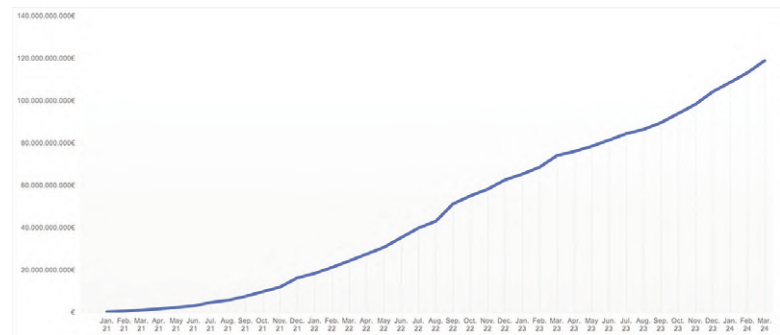


Fig. 4 | Trend of total monthly investment [€] from January 2021 to March 2024 (source: ENEA, 2022, 2023; adapted by the Authors, 2024).

cation of environmental sustainability through recognised process evidence. In this scenario, historical-architectural heritage, mainly residential buildings, will be affected by massive energy efficiency measures to close the gap between modern buildings and approach the standards of zero-emission building stock by 2030-2035.

Starting from the evolution of the concept of energy improvement of the built environment in Italy, the contribution discusses the impact of the energy transition process on recent European policies and directives, highlighting the criticalities and results achieved so far and the need to intervene at a global level through integrated approaches that give sustainability, not only environmental and economic but also social and cultural, the central role within the process.

The Energy Transition Process | The need to intervene more extensively in the energy performance of buildings led the Italian Ministry of Cultural Heritage and Activities and Tourism (MiBACT) to promote the drafting of an important document, the 'Guidelines for Improving Energy Efficiency in Cultural Heritage' (Battisti et alii, 2015): it is configured as the first reference on the topic of energy efficiency in historic buildings addressing mainly professionals and preservation institutions to describe, exemplify and evaluating interventions to improve energy behaviour (Pracchi and Buda, 2020). Starting from national and European regulatory provisions such as, for example, Legge 9 gennaio 1991 n. 10, Decreto Legislativo 19 agosto

2005 n. 192 and Directive 2010/31/EU (The European Parliament and the Council of the European Union, 2010), the text addresses the aspects related to the topic by collecting indications for an energy diagnosis not limited to buildings officially designated as Cultural Heritage.

In the same direction moves the UNI EN 16883: 2017 standard that, despite structuring a rigorous procedure for the evaluation and selection of efficiency measures for the built environment, suffers from an excessive complexity in the construction of the planning process and, therefore, is challenging to apply on a large scale (Leijonhufvud, Broström and Buda, 2021; Buda et alii, 2022).

In any case, both documents provide tools that show great potential for better guiding the choice of solutions; however, they remain non-mandatory guidelines with consequent poor replicability. It should also be remembered that for buildings that are bound under the Italian Cultural Heritage and Landscape Code (Decreto Legislativo 22 gennaio 2004 n. 42), it is possible to precisely identify the perimeters within which to intervene from an energy point of view in addition to the always permitted right to depart from the prescriptions and requirements imposed. Despite slowing the transition process, these possibilities protect the built heritage from any adverse effects on conserving its distinctive characteristics. At the same time, the non-protected building must face the transition process without any protection, strictly respecting the performance parameters established in the case of energy improvement interventions.

The revision of the EPBD, which is currently close to adoption, fits into this framework. In a nutshell and from what has recently been published by the European Commission (Cuffe and Schieder, 2024), the agreement stipulates that member states must ensure a reduction of primary energy used in residential buildings of at least 16% by 2030 and in a range between 20 and 22% by 2035. In addition, the minimum energy performance requirements include action on 16% of the worst-performing non-residential buildings by 2030 and 26% of the worst-performing buildings by 2033 to achieve a zero-emission building stock by 2050 (Tabb 2, 3).

This latest version results from numerous proposals made since the first EPBD in 2010, followed by the second in 2018. The revision also envisages new ways of certifying energy performance and a series of exemptions that would apply, for example, to monuments, valuable buildings, places of worship, buildings for temporary use or buildings with a surface area of less than 50 square metres. While waiting for this revision to be effectively adopted and for states to define their national strategies, it is conceivable that about 2.5 million residential buildings and about 1 million public buildings in Italy will be affected by 2035. These estimates redefine those made by the National Association of Building Constructors (ANCE, 2023) only a few months ago, which saw between 1.4 and 1.8 million buildings equally divided between condominiums and residential units involved in the process.

In the panorama thus outlined, several tax relief instruments fit into the picture, in particular, the so-called Superbonus 110%, which allowed tax deductions of 110% on the expenses incurred for efficiency upgrading operations (SuperEcobonus) and/or seismic improvement (SuperSismabonus) through the mechanism of invoice discount or credit transfer (Camera dei Deputati, 2022; Del Curto, 2021). Focusing here only on the SuperEcobonus, it is interesting to report a summary of the data provided by the National Energy Efficiency Agency concerning the years 2021 and 2022 (ENEA, 2022, 2023): the number of construction sites activated increased from about 92,000 to 352,000, showing an apparent growth in terms of investments, respectively 15.5 and 46.3 billion euro.

Both periods show a similar distribution of activities on the different building types. From a numerical point of view, in 2021, 15% of energy improvement measures were concerned with condominium buildings, 52% were single-family buildings, and 33% were independent housing units. Regarding investment, 48% was used for condominium operations, 33% on single-family buildings and 19% on independent housing units with average amounts of about € 543,000, € 108,000 and € 96,000, respectively. In 2022, the percentage breakdown varied slightly, in contrast to the average investment, which increased by about 10% compared to the previous year.

Although the data for 2023 are not yet consolidated, it is possible to glimpse an apparent decrease in new construction sites, about 109,000 and slightly above those activated in 2021, but with an investment of no less than 42.4 billion euro (Fig. 1-4). From the point of view of the type of intervention, the two years under review show very homogeneous data confirming the focus on the efficiency of the building's external envelope, followed by the modernisation of the heating system (Tab. 4). Finally, among the activities on the envelope, the insulation of vertical walls, the insulation of dispersing roofs and ceilings and the replacement of windows and doors, both in terms of total cost and annual energy savings, stand out in both periods (Tab. 5, 6).

Economic operators and sustainability | If talk-

ing about sustainability and energy transition implies abandoning partial logic in order to incentivise systems that integrate multiple aspects, it becomes necessary to delve into a second phenomenon that concerns the strategies of the economic operators involved in the debate and to understand to what extent regulatory and voluntary instruments are orienting the sector towards a more sustainable scenario. For the past ten years, we have witnessed a rapid transformation in business practices (Carbonara, 2021). This translates into strengthening environmental commitments and searching for products and services with increasingly evident and transmissible performance. The reasons for this are twofold: on the one hand, green marketing has assumed a central role in conferring competitiveness and quality to economic actors (Iraldo and Mellis, 2020); on the other hand, the regulatory system has contributed to making companies and businesses more aware of the environmental aspects associated with their activities.

Among the various tools promoting the environmental sustainability of building processes, the Minimum Environmental Criteria (MEC; Ministero della Transizione Ecologica, 2022) for buildings play a central guiding role in defining the minimum requirements for designing and realising public building works in the Italian context. A good eight years after the first GBC-HB certification protocol for historic buildings (Lucchi, Boarin and Zuppiroli, 2016), the concept of sustainability applied to historical heritage is fully included in the latest MEC update of 2022, with an extension of the scope that also includes listed buildings.

Also newly introduced are parameters for building materials regarding minimum recycled content, biodegradability, eco-friendliness, low volatile organic compound content and traceability. Finally, promoting innovation and sustainability is translated into adopting rewarding criteria for using innovative technologies and materials with a low environmental impact that involves the product or service throughout its entire life cycle.

In the wake of this update, there is an increasing phenomenon related to the demand for environmental product certifications, and it is here that the search for materials with 'MEC compliance'

does not coincide with the clarity of product declarations available on the market. Even though the recently updated ISO 14020:2023 family of standards provides a set of guidelines for all environmental declarations, from company reports to third-party certifications, the process related to self-declarations according to UNI ISO 14021: 2021 and eco-labels associated with certain types of products still lacks transparency. Of all of them, the international EPD scheme, established in 1977, is today the most widespread in Europe and effective in providing an information package on the percentage of recycled material.

However, this voluntary instrument is only informative towards the customer without indicating a preference assessment or a minimum environmental parameter that the product must comply with (Sposito and Scalisi, 2019). Indeed, among the parameters introduced by the MECs themselves, a review of the traditional materials and products of the conservation site, still highly toxic and awaiting validation in the broader European REACH Regulation on chemicals (European Commission, 2006), escapes. This is demonstrated by a quick comparison between the two versions of the document, the 2017 and the 2022 versions: the recycle content percentages, as do the product categories, remain unchanged.

The effort to introduce new parameters expected by economic operators working in the field of cultural heritage conservation remains unfulfilled due to the absence of mandatory environmental criteria for toxic substances for historic surfaces, first and foremost solvents and biocides, which, still widely in use, would require more significant restrictions related to the latest REACH updates (Tab. 7, 8). Therefore, while no unambiguous standards or parameters regulate the circulation of traditional and innovative materials on the construction site, the speed with which regulations are updated does not correspond to market demands. Companies, therefore, find themselves free to adopt environmental communications unconnected to concrete verification tools.

In order to limit the phenomenon of greenwashing, the European Sustainable Products Regulation (ESPR – Ecodesign for Sustainable Products Regulation; European Commission, 2022)

Type of intervention	Number of interventions	Surface [sqm] Power [kW]	Annual energy saving [GWh/year]	Total investments [€]	Percentage of total investments [%]	Cost of annual energy savings [€/GWh/year]
Building envelope [smq]	1,119,845	96,975,676	5,614	38,257,390,941	61.9	6.81
Heating/cooling system [kW]	602,899	11,206,532	3,214	10,864,045,750	17.7	3.38
Solar system [sqm]	105,234	505,859	139	1,247,058,441	2.0	8.98
Building automation [sqm]	82,872	10,230,818	82	679,113,843	1.1	8.30
Photovoltaic system [kW]	931,819	2,162,454	-	10,149,416,711	16.4	-
Other interventions	3,253	-	-	585,109,029	0.9	-

Tab. 4 | Overall data by type of intervention up to December 2022 (source: ENEA, 2023; adapted by the Authors, 2024).

Element / Type of intervention	Number of interventions	Surface [sqm]	Annual energy saving [GWh/year]	Total investments [€]	Percentage of total investments [%]	Cost of annual energy savings [€/GWh/year]
Vertical walls	222,889	54,288,422	2,897	15,860,641,705	41.5	5,0
Dispersing ceilings and roofs	159,727	20,061,112	1,107	5,178,536,889	13.5	5.0
Floors	70,356	7,110,114	351	1,765,875,024	4.60	5.0
Replacement of window and doors	458,705	8,142,043	1,139	12,503,647,822	32.7	11.0
Non-dispersing ceilings and roofs	28,298	4,437,494		1,301,567,472	3.40	-
Solar shadings and closings	98,021	1,614,431	90	1,048,272,548	2.70	12.0
Venetian blinds	81,849	1,322,060	30	562,849,481	1.50	19.0
Total	1,119,845	96,975,676	5,614	38,257,390,941	100	-

Element / Type of intervention	Number of interventions	Thermal Power [kW]	Annual energy saving [GWh/year]	Total investments [€]	Percentage of total investments [%]	Cost of annual energy savings [€/GWh/year]
Condensation boilers	161,567	4,257,292	412	2,158,631,005	19.90	5.24
Heat pumps	198,059	1,815,635	1,000	3,386,950,335	31.20	3.40
Hybrid systems (boilers and heat pumps)	181,153	4,769,559	1,620	4,687,625,634	43.15	2.90
Water-heating	49,851	143,864	85	305,697,816	2.84	3,.58
Biomass systems	8,062	176,179	77	185,778,622	1.71	2.43
Other interventions	4,207	44,103	20	139,362,338	1.00	-
Total	602,899	11,206,632	3,214	10,864,045,750	100	-

Tab. 5 | Overall data concerning interventions on the envelope up to December 2022 (source: ENEA, 2023; adapted by the Authors, 2024).

Tab. 6 | Overall data concerning heating/cooling system interventions up to December 2022 (source: ENEA, 2023; adapted by the Authors, 2024).

was adopted in April 2024. It introduces several novelties for the design and marketing of so-called ‘green’ products: among the main innovations, a harmonised labelling system and a Digital Product Passport (DPP) are foreseen, which promotes the alignment of companies from 2025, when the first information will be made available; the DPP will then become mandatory for a first group of products in 2027.

A second and final track on which many corporate climate neutrality strategies are moving concerns Corporate Social Responsibility initiatives (Cortés, Traxler and Greiling, 2023), or instead, Corporate Climate Claims, which companies support through the purchase of carbon credits from a voluntary market; this is a relatively widespread practice (Trouwloon et alii, 2023) whereby industry players offset emissions using high-quality carbon credits that support projects related to the protection of biodiversity.

This type of operation could recall the concept of ‘being less bad is not being good’ (McDonough and Braungart, 2002) since it does not prevent companies from continuing to introduce more or less polluting products onto the market through the offer of ‘cheap’ compensation; a second risk is that of generating improperly green products and services by incentivising the phenomenon of carbon washing. Looking at future, a route change could be supported by the Green Claims Directive (European Commission, 2023) that will definitively eliminate self-declarations and the use of green terminology without life-cycle certification of products.

Conclusions | The current scenarios and the processes initiated at the national and international levels highlight the centrality and fundamental role of the energy requalification of the building stock to pursue the path of decarbonisation and mitigation of the effects of climate change. However, the SuperEcobonus results must lead to new reflections and fuel a debate (Della Torre, 2010) that, even today, tends to focus only on technological and performance aspects without opening up to a broader discussion on compatibility and sustainability. The interventions carried out as part of the recent tax relief measures constitute the most extensive and unrepeatabe experimentation of building efficiency in Italy and provide valuable data for an initial assessment of the results and to direct future choices in the direction desired by Europe with the recent revision of the EPBD.

An initial examination can be carried out at a superficial numerical level. If we were to consider reconstructions involving between 3 and 4 million buildings as reliable, the building sector would find it very difficult to complete the process in the years leading up to 2035. Despite the high number of construction sites that have started, the annual potential of the sector is around 1% of the building stock, which is far from the planned needs. Furthermore, it is essential to emphasise that the criteria adopted in selecting interventions do not emerge. Although the MiBACT ‘Guidelines for Improving Energy Efficiency in Cultural Heritage’ and the UNI EN 16883:2017 standard propose approaches and methodologies that involve many

distinctive aspects of the built environment, the focus is directed towards transmittance parameters and the consequent double jump in class. Sustainability, which should guide the energy transition process, does not seem to emerge as strongly as it should from the information gathered and, on the contrary, would even be challenging to sustain.

On an economic level, we are now aware of the damage produced by the 110% Superbonus and the anomalies, contradictions and negative spin-offs (Gotta, Mecca and Rebaudengo, 2023). Some buildings’ energy efficiency improvement is undeniable; however, renovation has only involved 4% of Italian residential buildings without adopting a multidisciplinary and integrated approach. In addition, the systems and materials used – above all, those for the insulation and protection of buildings – are based on processes with low performance and environmental ambitions, therefore very impactful if we consider their entire life cycle. Finally, assessing these initiatives’ social and cultural impact is complex, and the role of the community, citizens, and building managers is fundamental.

In the energy requalification of buildings of historical-architectural value, it is preferred to intervene in the user’s behaviour, thanks to reflections on temperatures, selective heating and cooling, controlled ventilation and the provision of intelligent control tools (Gaspari et alii, 2022) that guarantee positive effects on energy consumption and a low impact on the building. The same strategy should be extended to the built environment in the geographical context to achieve more significant

ISO family	Standard	Document title	Description	Entry into force	Last update	MEC requirement
ISO 14020	UNI EN ISO 14020	Environmental statements and programmes for products Principles and general requirements	The core document for communicating environmental aspects and environmental impacts of products through environmental statements	2002	2023	Not present
	UNI EN ISO 14021	Environmental labels and declarations Type II environmental declarations Principles and procedures	Self-declared environmental claims	2016	2021	MEC 2017 and 2022
	UNI EN ISO 14024	Environmental labels and declarations Type I environmental declarations Principles and procedures	Ecolabels	2001	2018	MEC 2022 (in the 2017 version, Ecolabel only)
	UNI EN ISO 14025	Environmental labels and declarations Type III environmental declarations Principles and procedures	Environmental Product Declarations (EPDs)	2006	2011	MEC 2017 and 2022
	UNI EN ISO 14026	Environmental labels and declarations Principles, requirements and guidelines for communication of footprint information	Footprint communications	2018	-	Not present
	UNI CEN ISO/TS 14027	Environmental labels and declarations Development of Product Category Rules	Type III environmental declaration or footprint communication programme based on life cycle assessment (LCA) for PCR	2018	2021	Not present
	UNI EN 16640	Bio-based products Bio-based carbon content Determination of the bio-based carbon content using the radiocarbon method	Bio-based content	2017	-	MEC 2022 (for plastic materials only)

Term in use	Object	Description (if present)	Reference in the document
Adaptability	Buildings		COM(2019)640
Bio-eco-sustainable	Approach	It implies much broader concepts that consider healthfulness as an added value of a design not based only on a sum of technologies, but on a dialoguing whole between materials with a low environmental impact (renewable, durable reusable, recyclable) and technological knowledge	
Biodegradable	Oils	regenerated base	UNI EN ISO 14024
Bio-materials			COM(2020)662
Durability	Buildings		COM(2019)640
Ecological	Construction materials		COM(2019)640
Ecological	Criteria for Hard Coverings	1. Raw Material Extraction 2. Substances in Additives 4.2 Water Consumption and Use 4.3 Air Emissions (Particulates and Fluorides Only) 4.4. Water Emissions 5.2. Waste Recovery 6.1. Release of Hazardous Substances (Glazed Tiles Only)	2009/607/EC
Recyclable			UNI EN 15804
Recycled content		Recovered or a secondary product	UNI EN ISO 14021 COM(2019)640
Reusability			

Tab. 7 | MEC Novel restrictions in Standards for communicating environmental aspects and environmental impacts of Products through environmental statements (credit: the Authors, 2024).

Tab. 8 | An overview of the consistency of the novel vocabulary of green-oriented terms introduced by the CAM 2022 (credit: the Authors, 2024).

and tangible effects in terms of energy and overall sustainability.

It is essential to emphasise how the aim of decarbonisation and reduction of energy demand, with a consequent decrease in greenhouse gas emissions, can be achieved not only through direct intervention in the performance of existing buildings envelope in addition to and to complement the more conservative approaches that, by acting on the behaviour, management and regulation of the system as a whole, guarantee greater attention to the peculiarities of buildings, an advancement and simplification of issues can be achieved through the replacement of fossil fuels mainly used for heating and cooling of buildings.

Energy production systems using photovoltaic panels have proven helpful in reducing energy use from traditional sources, even in contexts with a high stratification of epochs, such as most Italian historical centres (De Medici, 2021; Lucchi and Schito, 2023). Research projects and experiments

for the built environment are now numerous and have highlighted potentials, criticalities (Polo López, Lucchi and Franco, 2020) and, above all, the actual benefits of the energy balance through increasingly defined and controllable procedures (Lucchi and Agliata, 2023).

With the same objective of intervening on the type of energy source and not directly on the performance, Renewable Energy Communities (RECs) are used to overcome the difficulties involved in the energy improvement of buildings that are heterogeneous in terms of materials, construction techniques, construction periods, stratifications, state of conservation and use. RECs can potentially play a crucial role, contributing significantly to the direction identified by Europe for the reconversion and energy self-sufficiency of the territory. Nevertheless, it is necessary to promote a development model that adopts integrated and multidisciplinary approaches able to favour, even partially, the use of alternative energy sources without

running into the criticalities already encountered for the built heritage, but at a different scale (Basti, Misceo and Di Giuseppe, 2023; Franco and Casanova, 2023).

References

- ANCE – Associazione Nazionale Costruttori Edili (2023), *Programma di lavoro della Commissione per il 2023*, 27/07/2023. [Online] Available at: ance.it/wp-content/uploads/allegati/Audizione_Programma_di_lavoro_della_Commissione_per_il_2023.pdf [Accessed 18 March 2024].
- Basti, A., Misceo, M. and Di Giuseppe, E. (2023), “Comunità energetiche e qualità architettonica dei centri storici minori – Energy communities and architectural quality of small historical centres”, in *Techne | Journal of Technology for Architecture and Environment*, vol. 26, pp. 151-162. [Online] Available at: doi.org/10.36253/techne-14476 [Accessed 22 April 2024].
- Battisti, A., Bellisario, M. G., Carbonara, G., D’Amico, S., De Santoli, L., Mercalli, M., Rubino, C., Scoppola, F., Banchini, R., Soragni, U. and Bladescu, I. (2015), *Linee di indirizzo per il miglioramento dell’efficienza energetica nel Patrimonio culturale – Architettura, centri e nuclei storici ed urbani*. [Online] Available at: soprintendenzapdve.beniculturali.it/la-soprintendenza-informa/atti-di-indirizzo/linee-guida-di-indirizzo-per-il-miglioramento-dellefficienza-energetica-nel-patrimonio-culturale/ [Accessed 18 March 2024].
- Bertini, I. (2022), “L’efficienza energetica per gli edifici storici”, in *ENEA Magazine | Energia, ambiente e innovazione*, vol. 1/2022, pp. 31-33. [Online] Available at: doi.org/10.12910/EAI2022-012 [Accessed 18 March 2024].
- Buda, A., De Place Hansen, E. J., Rieser, A., Giancola, E., Pracchi, V. N., Mauri, S., Marincioni, V., Gori, V., Fouseki, K., Polo Lopez, C. S., Lo Faro, A., Egusquiza, A., Haas, F., Leonardi, E. and Herrera-Avellanosa, D. (2021), “Conservation-Compatible Retrofit Solutions in Historic Buildings – An Integrated Approach”, in *Sustainability*, vol. 13, issue 5, article 2927, pp. 1-19. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su13052927 [Accessed 18 March 2024].
- Buda, A., Gori, V., de Place Hansen, E. J., Polo López, C. S., Marincioni, V., Giancola, E., Vermimmo, N., Egusquiza, A., Haas, F. and Herrera-Avellanosa, D. (2022), “Existing tools enabling the implementation of EN 16883:2017 Standard to integrate conservation-compatible retrofit solutions in historic buildings”, in *Journal of Cultural Heritage*, vol. 57, pp. 34-52. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.culher.2022.07.002 [Accessed 18 March 2024].
- Camera dei Deputati (2022), “Il superbonus edilizia al 110 per cento – Aggiornamento al Decreto-legge 21 giugno 2022, n. 73”, in *Dossier*, n. 118, Schede di lettura, 10/10/2022. [Online] Available at: documenti.camera.it/leg18/dossier/pdf/FI0136.pdf?_1705083536898 [Accessed 18 March 2024].
- Camera dei Deputati (2020), *Il recupero e la riqualificazione energetica del Patrimonio edilizio – Una stima dell’impatto delle misure di incentivazione*, Rapporto 2020, n. 32/2, 26/11/2020. [Online] Available at: documenti.camera.it/leg18/dossier/pdf/am0036b.pdf?_1705083346793 [Accessed 18 March 2024].
- Carbonara, G. (2021), “La ‘sostenibilità’ come nuovo parametro del restauro | Sustainability as a new parameter in restoration”, in *Recupero e Conservazione Magazine – Restauro e Sostenibilità | Heritage and Sustainability*, numero speciale, pp. 98-107. [Online] Available at: recmagazine.it/magazine/focus.html [Accessed 18 March 2024].
- Carbonara, G. (2015), “Energy efficiency as a protection tool”, in *Energy and Buildings*, vol. 95, pp. 9-12. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.12.052 [Accessed 18 March 2024].
- Cortés, D., Traxler, A. A. and Greiling, D. (2023), “Sustainability reporting in the construction industry – Status quo and directions of future research”, in *Heliyon*, vol. 9, issue 1, article E21682, pp. 1-18. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21682 [Accessed 18 March 2024].
- Cuffe, C. and Schieder, A. (2024), “Revision of the Energy Performance of Buildings Directive – Q4 2021 – Fit for 55 package under the European Green Deal”, in *Legislative Train*, n. 02/2024. [Online] Available at: europarl.europa.eu/legislative-train/carriage/revision-of-the-energy-performance-of-buildings-directive/report?sid=7801 [Accessed 18 March 2024].
- Decreto Legge 19 maggio 2020 n. 34, “Misure urgenti in materia di salute, sostegno al lavoro e all’economia, nonché di politiche sociali connesse all’emergenza epidemiologica da Covid-19 (20G00052)”, in *Gazzetta Ufficiale*, Serie Generale n. 128 del 19/05/2020, Suppl. Ordinario n. 21. [Online] Available at: gazzettaufficiale.it/eli/id/2020/05/19/20G00052/sg [Accessed 18 March 2024].
- Decreto Legislativo 19 agosto 2005 n. 192, “Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell’edilizia”, in *Gazzetta Ufficiale*, Serie Generale n. 222 del 23/09/2005, Suppl. Ordinario n. 158. [Online] Available at: gazzettaufficiale.it/eli/id/2005/09/23/005G0219/sg [Accessed 18 March 2024].
- Decreto Legislativo 22 gennaio 2004 n. 42, “Codice dei Beni culturali e del paesaggio, ai sensi dell’articolo 10 della legge 6 luglio 2002, n. 137”, in *Gazzetta Ufficiale*, Serie Generale n. 45 del 24/02/2004, Suppl. Ordinario n. 28. [Online] Available at: gazzettaufficiale.it/sommario/codici/beniculturali [Accessed 22 April 2024].
- De Medici, S. (2021), “Italian Architectural Heritage and Photovoltaic Systems – Matching Style with Sustainability”, in *Sustainability*, vol. 13, issue 4, article 2108, pp. 1-23. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su13042108 [Accessed 22 April 2024].
- Del Curto, D. (2021), “Dal mito dell’efficienza all’obiettivo della transizione energetica – Una sfida per gli edifici storici | From the myth of efficiency to the energy transition goal – A challenge for the historic buildings”, in *Territorio*, vol. 97, special issue, pp. 113-118. [Online] Available at: journals.francoangeli.it/index.php/territorioOA/issue/view/1000/171 [Accessed 18 March 2024].
- Della Torre, S. (2010), “Sostenibilità e conservazione di fronte al mito dell’efficienza energetica”, in *Ananke*, vol. 60, pp. 141-143. [Online] Available at: re.public.polimi.it/handle/11311/570356?mode=complete [Accessed 18 March 2024].
- Dulian, M. (2024), “Revision of the Energy Performance of Buildings Directive – Fit for 55 package”, in *EU Legislation in Progress*, 19/01/2024. [Online] Available at: [europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2022/698901/EPRS_BRI\(2022\)698901_EN.pdf](https://europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2022/698901/EPRS_BRI(2022)698901_EN.pdf) [Accessed 18 March 2024].
- ENEA – Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l’Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile (2023), *Le detrazioni fiscali per l’efficienza energetica e l’utilizzo delle fonti rinnovabili di energia negli edifici esistenti – Rapporto annuale 2023*. [Online] Available at: efficienzaenergetica.enea.it/component/jdownloads/?task=download.send&id=619&catid=9&Itemid=101 [Accessed 18 March 2024].
- ENEA – Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l’Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile (2022), *Le detrazioni fiscali per l’efficienza energetica e l’utilizzo delle*

fonti rinnovabili di energia negli edifici esistenti – Rapporto annuale 2022. [Online] Available at: efficienzaenergetica.enea.it/component/jdownloads/?task=download.send&id=559&catid=9&Itemid=101 [Accessed 18 March 2024].

European Commission (2023), *Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on substantiation and communication of explicit environmental claims (Green Claims Directive)*, document 52023PC0166, 166 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM:2023:0166:FIN [Accessed 18 March 2024].

European Commission (2022), *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, The European Economic and Social Committee, and the Committee of the Regions – On making sustainable products the norm*, document 52022DC0140, 140 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52022DC0140 [Accessed 18 March 2024].

European Commission (2006), *Regulation (EC) No 1907/2006 of the European Parliament and of the Council of 18 December 2006 concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH), establishing a European Chemicals Agency, amending Directive 1999/45/EC and repealing Council Regulation (EEC) No 793/93 and Commission Regulation (EC) No 1488/94 as well as Council Directive 76/769/EEC and Commission Directives 91/155/EEC, 93/67/EEC, 93/105/EC and 2000/21/EC*, document 32006R1907. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/en/ALL/?uri=CELEX%3A32006R1907 [Accessed 18 March 2024].

Franco, G. and Casanova, M. (2023), “Patrimonio culturale e Comunità energetiche – Criticità e Opportunità | Cultural Heritage and Energy Communities – Critical issues and opportunities”, in *Techne | Journal of Technology for Architecture and Environment*, vol. 26, pp. 68-77. [Online] Available at: doi.org/10.36253/techne-14457 [Accessed 22 April 2024].

Garzulino, A. (2020), “Energy Efficiency – A Multi-Criteria Evaluation Method for the Intervention on Built Heritage”, in *Sustainability*, vol. 12, issue 21, article 9223, pp. 1-18. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su12219223 [Accessed 18 March 2024].

Gaspari, J., Marchi, L., Oberosler, C. and Antonini, E. (2022), “Strumenti di monitoraggio per abitare il risparmio energetico nell’edilizia sociale | Monitoring tools as energy saving enablers in social housing context”, in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 12, pp. 136-145. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/12122022 [Accessed 18 March 2024].

GBCI – Green Building Council Italia (2023), *Impact Report – L’impatto dell’edilizia sostenibile certificata in Italia*. [Online] Available at: gbcitalia.org/wp-content/uploads/2023/06/Impact-Report-GBC-Italia_20230613.pdf [Accessed 18 March 2024].

Gotta, A., Mecca, U. and Rebaudengo, M. (2023), “Switching from Risks to Opportunities – The Application of a Superbonus Tax Incentive to Heritage Buildings from the 1960s in Fragile Mountain Contexts”, in *Land*, vol. 12, issue 6, article 1130, pp. 1-14. [Online] Available at: doi.org/10.3390/land12061130 [Accessed 18 March 2024].

Iraldo, F. and Melis, M. (2020), *Oltre il Greenwashing – Linee Guida sulla comunicazione ambientale per aziende sostenibili, credibili e competitive*, Edizioni Ambiente, Milano.

Legge 9 gennaio 1991 n. 10, “Norme per l’attuazione del Piano Energetico Nazionale in materia di uso razionale dell’energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia”, in *Gazzetta Ufficiale*, Serie Generale n. 13 del 16/01/1991, Suppl. Ordinario n. 6. [Online] Available at: gazzettaufficiale.it/eli/id/1991/01/16/091G0015/sg [Accessed 18 March 2024].

Legge 30 marzo 1976 n. 373, “Norme per il contenimento del consumo energetico per usi termici negli edifici”, in *Gazzetta Ufficiale*, Serie Generale, n. 148 del 07/06/1976. [Online] Available at: gazzettaufficiale.it/eli/id/1976/06/07/076U0373/sg [Accessed 18 March 2024].

Leijonhufvud, G., Broström, T. and Buda, A. (2021), *An*

Evaluation of the Usability of EN 16883:2017 – Suggestions for enhancing the European guidelines for improving the energy performance of historic buildings, SHC Task 59 – ECB Annex 76 – Report D.B2. [Online] Available at: doi.org/10.18777/ieashc-task59-2021-0002 [Accessed 18 March 2024].

Lucchi, E., Boarin, P. and Zuppiroli, M. (2016), “GBC Historic Building® – A new certification tool for orienting and assessing environmental sustainability and energy efficiency of historic buildings”, in de Bouw, M., Dubois, S., Dekeyser, L. and Vanhellemont, Y. (eds), *Proceedings of 2nd International Conference on Energy Efficiency and Comfort of Historic Buildings – EECHB 2016 (Brussels, 19/10/2016 – 21/10/2016)*, Flanders Heritage Agency, Bruxelles, pp. 250-256. [Online] Available at: eechb.eu/wp-content/uploads/2016/12/Proceedings_EECHB.pdf [Accessed 18 March 2024].

Lucchi, E. and Agliata, R. (2023), “HBIM-based workflow for the integration of advanced photovoltaic systems in historical buildings”, in *Journal of Cultural Heritage*, vol. 64, pp. 301-314. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.culher.2023.10.015 [Accessed 22 April 2024].

Lucchi, E. and Schito, E. (2023), “Integrating Different PV Roofs on a Heritage Building Considering Aesthetic, Technical, Energy, and Environmental Aspects – A Multiperspective Approach”, in Sayigh, A. (ed.), *Mediterranean Architecture and the Green-Digital Transition – Innovative Renewable Energy*, Springer, Cham, pp. 179-189. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-031-33148-0_15 [Accessed 22 April 2024].

McDonough, W. and Braungart, M. (2002), *Cradle-to-cradle – Remaking the Way We Make Things*, North Point Press, New York.

Ministero della Transizione Ecologica (2022), “Decreto 23 giugno 2022 – Criteri ambientali minimi per l’affidamento del servizio di progettazione di interventi edilizi, per l’affidamento dei lavori per interventi edilizi e per l’affidamento congiunto di progettazione e lavori per interventi edilizi (22A04307)”, in *Gazzetta Ufficiale*, Serie Generale n. 183 del 06/08/2022. [Online] Available at: gazzettaufficiale.it/eli/id/2022/08/06/22A04307/sg [Accessed 18 March 2024].

Polo López, C. S., Lucchi, E. and Franco, G. (2020), “Acceptance of Building Integrated Photovoltaic (BIPV) in Heritage Buildings and Landscapes – Potentials, Barriers, and Assessment Criteria”, in *Construction Pathology, Rehabilitation Technology and Heritage Management – Proceedings of the 8th Euro-American Congress – REHABEND 2020, Granada, Spain, March 24-27, 2020*, pp. 1636-1644. [Online] Available at: bipvmeetshistory.eu/wp-content/uploads/2021/04/acceptance-rehabend.pdf [Accessed 22 April 2024].

Pracchi, V. N. and Buda, A. (2020), “Le Linee di Indirizzo per il miglioramento dell’efficienza energetica nel Patrimonio culturale – Indagine per la definizione di uno strumento guida adeguato alle esigenze della tutela”, in Musso, S. F. and Pretelli, M. (eds), *Restauro – Conoscenza, Progetto, Cantiere, Gestione*, Roma, pp. 772-782. [Online] Available at: edizioniquasar.cloud/Restauro/assets/sez.-5.2.pdf [Accessed 18 March 2024].

Sposito, C. and Scalisi, F. (2019), “A possible tool for the choice of building materials – The Environmental Product Declaration (EPD)”, in Bisson, M. (ed.), *MDA / 3rd International Conference on Environmental Design, Marsala 03-04 October 2019*, Palermo University Press, Palermo, pp. 189-199. [Online] Available at: academia.edu/40469357/A_possible_tool_for_the_choice_of_building_materials_the_Environmental_Product_Declaration_EPD [Accessed 18 March 2024].

The European Parliament and the Council of the European Union (2010), *Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast)*, document 32010L0031. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32002L0091 [Accessed 18 March 2024].

Trouwloon, D., Streck, C., Chagas, T. and Martinus, G.

(2023), “Understanding the Use of Carbon Credits by Companies – A Review of the Defining Elements of Corporate Climate Claims”, in *Global Challenges*, vol. 7, issue 4, article 2200158, pp. 1-18. [Online] Available at: doi.org/10.1002/gch2.202200158 [Accessed 18 March 2024].

UNI EN 16883:2017, *Conservation of Cultural Heritage – Guidelines for improving the energy performance of historic buildings*. [Online] Available at: store.uni.com/en/uni-en-16883-2017 [Accessed 18 March 2024].

UNI EN ISO 14020:2023, *Environmental statements and programmes for products – Principles and general requirements*. [Online] Available at: store.uni.com/en/uni-en-iso-14020-2023 [Accessed 18 March 2024].

UNI ISO 14021:2021, *Environmental labels and declarations – Self-declared environmental claims (Type II environmental labelling)*. [Online] Available at: store.uni.com/en/uni-en-iso-14021-2021 [Accessed 18 March 2024].

ARTICLE INFO

Received	18 March 2024
Revised	23 April 2024
Accepted	07 May 2024
Published	30 June 2024

PER UNA TRANSIZIONE PROGETTUALE

Composizione e progetto del verde
per la città contemporanea

FOR A DESIGN TRANSITION

Green composition and design
for the contemporary city

Claudia Pirina, Giovanni Comi, Vincenzo d'Abramo

ABSTRACT

Il contributo affronta il tema della transizione energetica attraverso la rigenerazione e il riuso degli spazi urbani abbandonati. Se il tema della rinaturalizzazione dei suoli e della salvaguardia degli ambienti naturali è noto alla cultura architettonica contemporanea, la necessità di ripensare a una sistematizzazione dei singoli interventi, per giungere a un approccio transcalarare del progetto, sembra essere una riflessione che richiede ancora un necessario approfondimento critico. In questo senso il contributo, attraverso la lettura di alcuni casi di studio, indaga le potenzialità che elementi quali vuoti urbani e sistemi paesaggistico-territoriali, declinati nella loro capacità di incidere sulla transizione energetica, sono capaci di generare per il progetto, contribuendo direttamente e indirettamente sui fenomeni trasformativi, tanto in aree urbane quanto in quelle periferiche.

The paper addresses the issue of energy transition through the regeneration and reuse of abandoned urban spaces. While the theme of re-naturalisation of soils and preservation of natural environments is a familiar one in contemporary architectural culture, the need to re-think the systematisation of individual interventions in order to arrive at a transcalar approach to design seems to be a reflection that still requires the necessary critical investigation. In this sense, the contribution, through the reading of some case studies, investigates the potential that elements such as urban voids and landscape-territorial systems, declined in their ability to affect the energy transition, are capable of generating for the project, contributing directly and indirectly on transformative phenomena, both in urban and peripheral areas.

KEYWORDS

terzo paesaggio, rigenerazione urbana, rinaturalizzazione, disegno di suolo, transcalarità

third landscape, urban regeneration, re-naturalisation, land design, transcalarity

Claudia Pirina, Architect and PhD, is an Associate Professor of Architectural and Urban Composition at the University of Udine (Italy). She has given lectures and conferences in Italian and foreign Universities, organised exhibitions and seminars, and participated in workshops. Her research topics are Archaeology, the Masters of Spanish Architecture, the relationship between Architecture and the Arts, and the Landscapes Theatre of the Great War. E-mail: claudia.pirina@uniud.it

Giovanni Comi, Architect and PhD in Architectural and Urban Composition, is a Researcher at DPIA, University of Udine (Italy). His research focuses on architectural composition at different scales, design related to the built environment, and urban and landscape regeneration in marginal and fragile contexts. E-mail: giovanni.comi@uniud.it

Vincenzo d'Abramo, Architect and PhD in Architectural and Urban Composition, is a Research Fellow at DPIA, University of Udine (Italy). His research investigates the role of composition in contemporary city design, exploring in particular the experience of some masters of German architecture. E-mail: vincenzo.dabramo@uniud.it



La transizione energetica rappresenta una tra le sfide più complesse che caratterizzano la nostra epoca. L'obiettivo dell'European Green Deal (European Commission, 2019) di rendere l'Europa il primo continente a neutralità climatica entro il 2050 prevede, infatti, una serie di strategie, normative e nuove pratiche che necessitano di essere indagate per comprendere non solo l'impatto sui settori della produzione dell'energia, dei trasporti, dell'industria, del comparto agricolo e delle costruzioni, ma anche per riflettere sulle ricadute che la transizione verso l'impiego di fonti rinnovabili potrà avere sulla riduzione dei consumi – energetici e di risorse – attraverso l'adozione di fonti alternative e di un processo che, come il testo intende evidenziare, «[...] richiede sinergie sempre più forti tra architettura e ingegneria, tra tecnologia, identità dei luoghi e comunità locali, tra sistemi naturali e sistemi antropici» (Thiébat, 2023, p. 41).

Se le tecnologie sono sempre più parte del paesaggio, a partire dalla scala dell'architettura e fino a quella dei grandi impianti per la produzione energetica, appare chiaro che i processi di transizione nel loro attuarsi diano concreta forma allo spazio: la relazione che li lega ai caratteri di permanenza presenti nell'ambiente costruito, mette a confronto i patrimoni da preservare e i processi che, se non adeguatamente approfonditi, rischiano di contraddirne la riconoscibilità.

L'adeguamento e la rigenerazione del patrimonio edilizio esistente rappresenta un tema centrale di riflessione e sperimentazione per le ricadute rilevanti che può determinare in chiave energetica sulla città. Se le aree dismesse offrono un'opportunità in questa direzione, sarebbe però utile da un lato che questo processo di trasformazione tenesse in considerazione non solo il patrimonio architettonico in quanto edificato, dall'altro che, considerando i rapporti tra architettura e paesaggio, tra ambiente costruito e sistemi territoriali, contemporaneamente ne valorizzasse anche le caratteristiche ecologiche per permettere una reale rigenerazione di questi siti. Questi luoghi rappresentano, infatti, per la città un importante e spesso misconosciuto serbatoio di biodiversità che può dare vita a nuovi ecosistemi (Lecardane, 2023), pertanto la rinuncia a una lettura dello spazio aperto e del vuoto in questa direzione rischierebbe di de-figurare tali luoghi, oggetto di un intervento di rifunzionalizzazione piuttosto che di ricomposizione.¹

Appare quindi necessario intendere la 'riconversione' non nei termini della 'sostituzione' di funzioni altre, ma nel senso di ricucitura delle relazioni in una prospettiva di ridisegno complessivo della città. Questo approccio sembra allinearsi anche con le indicazioni dell'United Nations Economic Commission For Europe (UNECE, 2022), che tra le sue Linee Guida comprende non solo l'avanzamento tecnologico, in senso stretto di una progressione di materiali e strumenti atti ad agevolare la transizione energetica, ma anche la necessità di riflettere su quelle che vengono definite tecnologie a impatto zero, ovvero tecnologie / metodologie che in termini 'passivi', e attraverso procedimenti critici e buone pratiche progettuali, vadano a incidere sulla transizione e resilienza dei sistemi energetici.

In questo quadro una risorsa centrale è rappresentata dal suolo, il cui consumo netto pari a ze-

ro è uno dei principali obiettivi a livello europeo entro il 2050 (European Commission, 2021), al pari di un allineamento del consumo alla crescita demografica e di un bilancio non negativo del degrado del territorio entro il 2030 (UN, 2015). Tuttavia bisogna anche evidenziare che il Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima – PNIEC (MASE, 2023) prevede che al 2030 siano installati 131 GW di impianti a fonti rinnovabili con un incremento di capacità di circa 74 GW rispetto al 2021 (di cui 57 GW da fotovoltaico e 17 GW da eolico). Un simile incremento richiede necessariamente l'impiego di grandi impianti fotovoltaici il cui posizionamento è previsto o a terra, o su edificato – coperture, tetterie, aree di servizio – o attraverso la diffusione di impianti agrivoltaici. Per rispondere a queste richieste il PNIEC individua come prioritario anche l'uso di zone improduttive, abbandonate o dismesse, da ridestinare a scopi energetici.

Alla luce delle superiori premesse il contributo intende sottolineare come gli scenari evocati da 'dismissione', 'abbandono' e 'vuoto', quest'ultimo soprattutto di carattere urbano, offrano la possibilità di elaborare progetti che investano significativamente la città e il territorio in un'ampia riflessione di ridisegno critico, a patto di non interpretare questi spazi unicamente come scene per progetti esemplari e dimostrativi o come superfici utili per ospitare nuovi impianti. Leggere le aree dismesse non in termini di superficie libera, ma come opportunità di trasformazioni in cui natura e infrastruttura si compenetrano, può rappresentare una strategia per restituire al territorio il suo equilibrio, a patto di inventare² – nel senso di trovare – a questi spazi una struttura che ne consenta una nuova interpretazione senza che si cancelli la memoria del passato (Falzetti and Minuto, 2023).

In quest'ottica il contributo, a partire dall'analisi di alcuni casi di studio che in contesti europei differenti hanno declinato i temi della composizione progettuale in aree di transizione, assume come paradigmi di riferimento e di ricerca l'attenzione al valore morfologico del vuoto e la transcalarietà degli interventi (Ingaramo et alii, 2023).

L'articolo, indirizzato prevalentemente ad architetti, paesaggisti e tecnologi, si compone di cinque paragrafi: 'Processo versus composizione? Alcune esperienze europee di sperimentazione del rapporto architettura / tecnologia / natura' introduce il tema muovendo da alcuni più recenti progetti che indagano i rapporti con tecnologie innovative e natura; 'Paesaggi in transizione' presenta una riflessione sul vuoto come elemento progettuale strategico; 'La trasformazione come paradigma territoriale' intende superare l'approccio contingente per considerazioni di lungo periodo; 'Un approccio transcalare' illustra casi di studio tra pre-esistenza e contesto sviluppati su grandi aree regionali; 'Progetto e consumo di suolo', in forma di conclusione ragionata, considera il ruolo del progetto alle diverse scale in una prospettiva di miglioramento, non solo estetico, ma morfologico della qualità urbana e ambientale.

Processo versus composizione? Alcune esperienze europee di sperimentazione del rapporto architettura / tecnologia / natura | Negli anni '70 Cedric Price (2003), affermando che lo scopo dell'architettura, più che soddisfare il desiderio, è

incoraggiare la gente a comportarsi, mentalmente e fisicamente, in modi prima ritenuti impossibili, all'interno del processo creativo rivendica un ruolo centrale per la tecnologia, intesa come processo più che come prodotto. Secondo il visionario architetto inglese questa attenzione nei confronti del processo dovrebbe (o potrebbe) incentivare l'architetto a occuparsi maggiormente della risoluzione di problemi sociali, rivolti alla 'utilità', più che a interessarsi esclusivamente al disegno del progetto, inteso come prodotto finito.

Secondo tale logica l'obiettivo sarebbe quello di apprendere nuovi linguaggi progettuali capaci di rifuggire da forme e artefatti della tradizione, accettati in forma acritica. Le sue proposte progettuali, sperimentando strutture aperte caratterizzate da flessibilità costruttiva e, talvolta, da una obsolescenza programmata, definiscono le regole del gioco e possibili combinazioni che danno luogo all'immagine finale solamente a seguito di un processo aperto e non necessariamente controllabile fino in fondo dall'architetto.³

Se alcuni assunti di base proposti da Price sono pienamente condivisibili, il testo propone una riflessione critica su possibili rapporti tra tecnologie innovative e progetto, nel nome della transizione energetica ed ecologica, che non necessariamente diano luogo a processi che annullano o mortificano il ruolo della composizione e del controllo dell'immagine finale del progetto, né al contempo neghino l'importanza di un dialogo attivo tra futuri fruitori e architetto. In secondo luogo il testo propone una rilettura di alcuni progetti, non necessariamente realizzati negli ultimi anni, nell'intento di rendere esplicito come le ricerche su tali tematiche siano in corso già da diverso tempo, seppur talvolta utilizzando termini differenti per il loro racconto.

Si tratta di ricerche che non rivolgevano la propria attenzione solo verso aspetti di natura meramente estetica – legata alla 'poetica' dei singoli autori – ma anche nei confronti di valori etico-energetici-ecologici del progetto alle diverse scale, che comportavano ricadute del processo progettuale sui temi della transizione energetica, architettonica e culturale. Inseguendo tale logica una certa tendenza dell'architettura contemporanea utilizza slogan rivolti a far intendere alcune sfide e condizioni esclusivamente come figlie del nostro tempo, quando alcuni concetti di base hanno in realtà percorso la cultura e storia architettonica non solo recente. Tornare a volgere l'attenzione verso tali esperienze intende promuovere quindi una riflessione critica proprio nei confronti di quelle numerose recenti esperienze che popolano l'attuale dibattito.

Occupandoci della contemporaneità, alcuni progetti possono essere annoverati tra quelli in cui il rapporto tra architettura e natura costituisce elemento cardine di processi trasformativi che, pur recuperando alcuni temi proposti da Price, mantengono un'attenzione anche nei confronti del 'prodotto finale'. Numerosi progetti dello studio Inside Outside di Petra Blaisse sperimentano, per esempio, il progetto come manufatto 'nature-inclusive'⁴ in cui l'architettura, nuova o rigenerata, si integra con infrastrutture ecologiche a supporto anche di una sostenibilità energetica. Nella torre residenziale RIF – Sluisbuurt Kavel 4° del 2021-2022, a partire da alcune immagini di Alexander von Humboldt lo studio progetta una torre

abitativa biorecettiva che integra vegetazione, animali e insetti su tutte le sue superfici, seguendo il ritmo lento dell'evoluzione naturale⁵, nell'intento di contrastare la progressiva perdita di biodiversità che caratterizza il nostro tempo e le attuali conurbazioni (Fig. 1).

Analoghi principi costituiscono la base del progetto di rivitalizzazione e trasformazione dell'area industriale di Gruze del 2022 (Hochhaus Sulzerallee), o ancora il progetto di riqualificazione di un ex-Gasometro nella Città di Münster (Grüner (I)Konus) del 2023 (Fig. 2), le cui esili strutture si inseriscono all'interno di un fitto bosco urbano, in parte piantumato e in parte spontaneo, valorizzando le qualità naturali del sito e arricchendo l'esperienza di residenti e visitatori. Si può affermare che gli elaborati di progetto ripercorrono, seppur nella sua natura visionaria, i disegni di Peter Latz per il Landschaftspark Duisburg-Nord del 2002, in cui il tema della dismissione incontra una nuova relazione tra architettura e natura, o forse ancora il dipinto di Mario Sironi dal titolo Gasometro – Veduta di Città (1943) dove le forme dell'industria e della periferia produttiva, 'decadenti' com'erano considerate in quel momento, divengono relazioni figurative e forme d'arte.

Nel contesto iberico lo studio Ecosistema Urbano, che opera dai primi anni 2000, dichiara fin dalla scelta del nome le proprie intenzioni; in anni recenti i suoi interventi indagano il rapporto architettura / natura, in chiave energetica, sia in relazione al disegno di spazi pubblici che di edifici. Il Campus Malaga del 2017 (Fig. 3) propone, per esempio, l'idea di campus aperto e innovativo che, nell'intento di migliorare le funzioni accademiche e sociali all'interno degli spazi pubblici, crea un ambiente naturale attraente e confortevole, oltre che incorporare la tecnologia che consente una nuova atmosfera di interazione tra l'ambiente fisico e digitale.

Negli stessi anni, la riattivazione del waterfront di West Palm Beach (Fig. 4) integra il disegno dello spazio aperto con quello dell'edificio Banyan nell'obiettivo di progettare un centro urbano dinamico e inclusivo in cui attività e spazi siano strettamente intrecciati, dando corpo a un nuovo paesaggio acquatico urbano.⁶

Tali progetti proseguono una ricerca iniziata, fin dai primi anni di attività dello studio, con il progetto dell'Ecoboulevard a Vallecas⁷ del 2004-2005 (Fig. 5) che pone come tema la riqualificazione dello spazio pubblico di uno di quei nuovi boulevard prodotti dai progetti di nuove conurbazioni residenziali, spesso a carattere sociale, che hanno caratterizzato lo sviluppo della Città di Madrid in quegli anni. Le dimensioni 'fuori misura' di 500 x 50 metri dello spazio della 'strada' che attraversa in direzione Nord-Sud la zona all'estremità occidentale dell'Ensanche de Vallecas rendevano quel luogo privo di carattere, oltre che di qualità spaziale, ma soprattutto ponevano condizioni critiche relative alla sostenibilità 'termica' e quindi di uso dello spazio stesso.

Il progetto di riqualificazione di tale grande spazio irrisolto ha proposto un'innovativa operazione di ridisegno urbano che riconfigurasse la 'sezione tipo' del viale attraverso l'inserimento di tre architetture effimere, in forma di padiglioni cilindrici, definiti 'alberi di aria'. Tali recinti sospesi dal suolo definiscono tre luoghi di possibile aggregazione, catalizzatori per diversi tipi di attività: ciascun pa-

diglione si compone di una struttura di acciaio zincato che funge da supporto per piante rampicanti in grado di costruire piazze ombreggiate e semi-chiuse. Seppur simili per dimensioni (17 metri di altezza e 20 metri di diametro), ogni padiglione presenta un proprio carattere reso riconoscibile dall'uso di materiali e attrezzature specifiche; i pannelli fotovoltaici posti in copertura, infine, rendono le strutture interamente autosufficienti.

Dal punto di vista ambientale questi padiglioni suppliscono in forma immediata all'assenza di verde, utilizzando semplici sistemi di climatizzazione evaporo-traspirativa, mutuati da sistemi utilizzati nelle serre dall'industria agricola. Nel tempo il progetto prevede una inversione tra pieni e vuoti, per cui il sistema arboreo piantumato all'esterno delle strutture, una volta cresciuto, lascerà spazio a tre stanze a cielo aperto, intese come 'radure nella foresta' (Tato, Vallejo and García-Setién, 2006).

Il carattere innovativo della proposta risiede nella ricerca di un equilibrio tra uso dello spazio e natura, tra processo e forma, in un fruttuoso dialogo tra sistema costruttivo del supporto – manifesto di artificialità – e natura. Le proposte dello studio manifestano, in generale, la presenza costante di una tutela dell'ambiente in cui operano gli architetti, un'indagine permanente per difendere l'equilibrio precario di ciò che si costruisce, un impegno, una ricerca per realizzare una cultura del controllo climatico attraverso il controllo meccanico, le abitudini umane o i sistemi costruttivi capaci in qualche modo di copiare i comportamenti della natura (Pérez Arroyo, 2006).

A partire dall'immagine di tali più recenti progetti visionari, nei paragrafi seguenti si ripercorreranno le vicende di alcuni progetti meno recenti che hanno tracciato alcune vie, per sottolineare con forza, come non sia sempre necessario rincorrere la tecnologia o la risposta più immediata, ma come il progetto debba sostanzarsi su una lenta riflessione, sul depositarsi di conoscenza, intesa come strumento critico.

Paesaggi in transizione: il vuoto come struttura fondativa in alcuni progetti di Michel Desvigne

Riflettendo sul tema delle aree industriali in dismissione, già nel 1990 Vittorio Gregotti dalle pagine di Rassegna sottolineava l'urgenza di dedicare nuova attenzione a questi territori dell'abbandono in termini 'morfologici' oltre che 'ecologici'. Il loro delinearli come oggetti progettuali, oggi come allora, li rende opportuni per una lettura alternativa del modo di costruirsi della città e offre «[...] un'occasione straordinaria di riequilibrio territoriale, di una nuova e più coerente logica di reti di servizi e infrastrutture» (Gregotti, 1990, p. 5).

Emerge una interpretazione che considera le aree dismesse nell'ottica di riattivazione di un lotto reso nuovamente disponibile, ma all'interno di una strategia volta a valorizzare le valenze multiple con il contesto circostante. Pensare a Piani di riconversione di paesaggi produttivi, un tempo sorti sotto la spinta di processi di industrializzazione che assoggettavano il territorio alle proprie esigenze, escludendo la città e l'ambiente, significa proporre soluzioni di ricomposizione delle relazioni quanto più possibile legate al paesaggio e alla sua geografia. Nel moto di ritiro dell'attività umana da vaste porzioni di territorio è infatti possibile riconoscere una tensione propositiva verso un orizzonte di ipotesi di trasformazione che rendano que-

sti vuoti una potenziale risorsa per la città nella sua interessezza.

Senza una reale ricomposizione di ciò che già esiste vi è il rischio che la città si mostri nuovamente incapace di restituire questi spazi a una dimensione pubblica. Appare quindi necessario recuperare la capacità di immaginare questi territori, prima di progettarli, confrontandosi con un tempo dilatato che non pensi al contingente, ma rifletta sul futuro per essere in grado di restituire la memoria, perseguendo una logica trasformativa, piuttosto che puramente innovativa. La trasformazione di questi spazi, infatti, nasce all'interno del dibattito sulla transizione energetica, ma si interroga sugli attriti e i conflitti che rischiano di generarsi senza una piena consapevolezza della dipendenza intrinseca tra energia, risorse e progetto urbano.

Non è il singolo oggetto, ma l'attenzione alla relazione tra le parti, alle sequenze e gerarchie a dover essere indagata e quindi disegnata. Quel vuoto connettivo si offre come elemento in grado di ristabilire un ordine e una misura, rivelando la sua qualità di spazio in attesa, teatro di possibili nuove destinazioni d'uso e trasformazioni: un vuoto che si declina in forma di spazi aperti e disegno del suolo inteso come risorsa.

Esempio mirabile è il progetto Lyon Confluence (Fig. 6) di Michel Desvigne dove il verde assume il ruolo di struttura portante che sfrutta la frammentazione del territorio per creare un sistema provvisorio di parchi 'in attesa' di future trasformazioni; «[...] laddove l'incarico suggeriva la composizione di un parco unitario di trenta ettari, la [...] proposta ipotizza un 'sistema di parchi' diffuso e mobile che investa immediatamente, in maniera temporanea o definitiva, ogni singola superficie esterna disponibile» (Desvigne, 2001, p. 18).

Esemplare anche l'intervento per l'Île Seguin a Parigi (Fig. 7), dove il progetto è concepito come «[...] una sorta di elemento fondativo, uno strato primigenio che andrà evolvendo man mano che si estenderanno gli interventi di sviluppo e riqualificazione urbani» (Desvigne and Ceriolo, 2015). L'intervento «[...] svolge il ruolo di osservatorio dell'area in costruzione e hub per nuove attività di quartiere» (Desvigne, 2012, p. 6); in questo modo il giardino anticipa la pianificazione dell'intero sito, sineddoche del futuro parco. Di notevole interesse, nell'economia del presente contributo, non è solo l'opera realizzata nel 2020, ma l'immagine che il giardino disegnato da Desvigne anticipa: pre-figurando il futuro giardino per tappe di sviluppo tra loro successive, l'autore opera per processi dinamici attraverso i quali, come la natura, anche la città può costruirsi.

Questi progetti si presentano come modelli orientati a una nuova sensibilità per la Natura, intesa non come un inselvaticamento, risultato di una sospensione di giudizio, ma come supporto a cui ancorare la strategia di sviluppo territoriale. Sono progetti nei quali il verde non è più solo forma residuale, ma materiale in grado di dettare future metamorfosi del sito; spazi sottoposti a ulteriori potenziali trasformazioni, 'nature intermedie' capaci di giocare sulla durata e la provvisorietà, in cui il tempo diventa un fattore determinante; paesaggi in transizione che disegnano spazi 'in potenza' in cui si compie la ricerca di un nuovo vocabolario attraverso il quale «[...] la precarietà assicura una grande durevolezza» (Desvigne, 2012, p. 22).

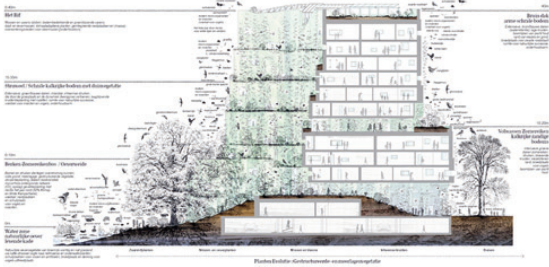


Fig. 1 | RIF Residential Tower – Sluisbuurt Kavel 4° (2021-22), designed by Inside Outside Petra Blaisse: section and a view of the exterior on the ground floor (credit: Inside Outside Petra Blaisse, 2023).

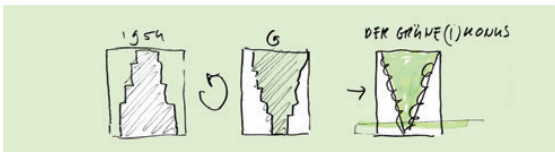


Fig. 2 | Grüner (I)Konus in Münster (2023), designed by Inside Outside Petra Blaisse: views, schematics and a section for the rehabilitation of the former Gasometer (credit: Inside Outside Petra Blaisse, 2023).

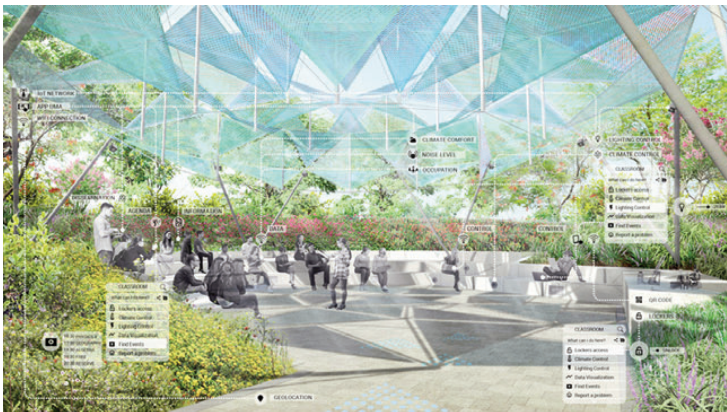
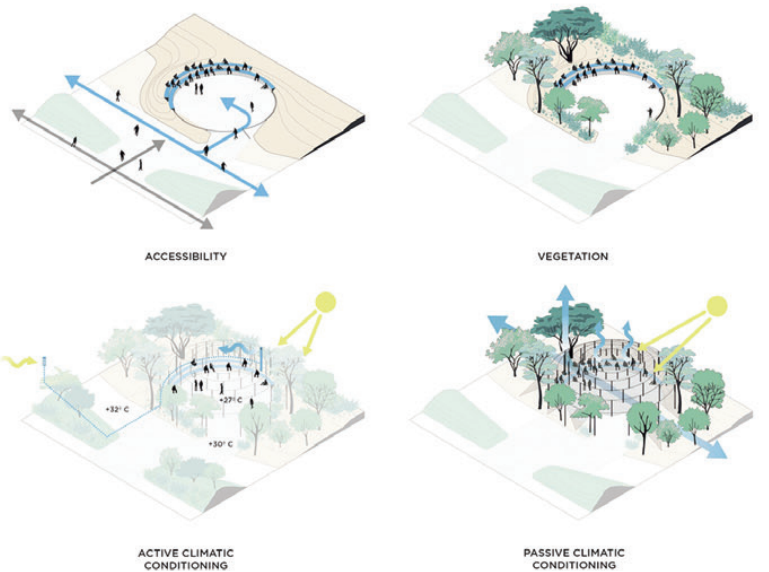
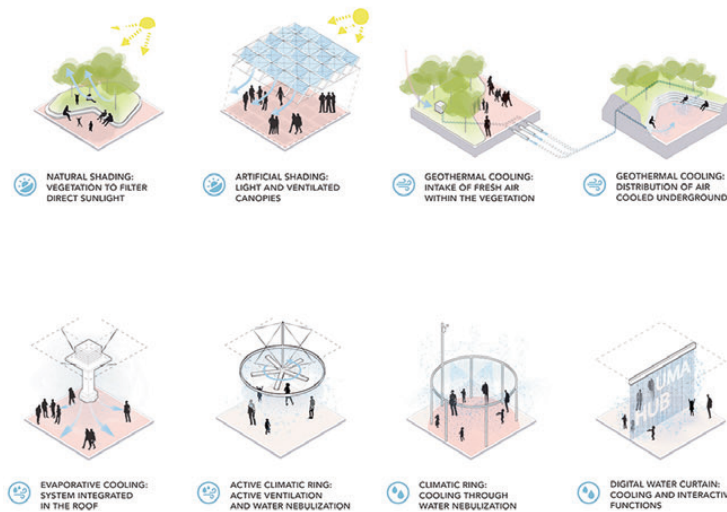


Fig. 3 | Malaga Campus (2017), designed by Ecosistema Urbano: view, section and diagrams (credit: Ecosistema Urbano, 2017).



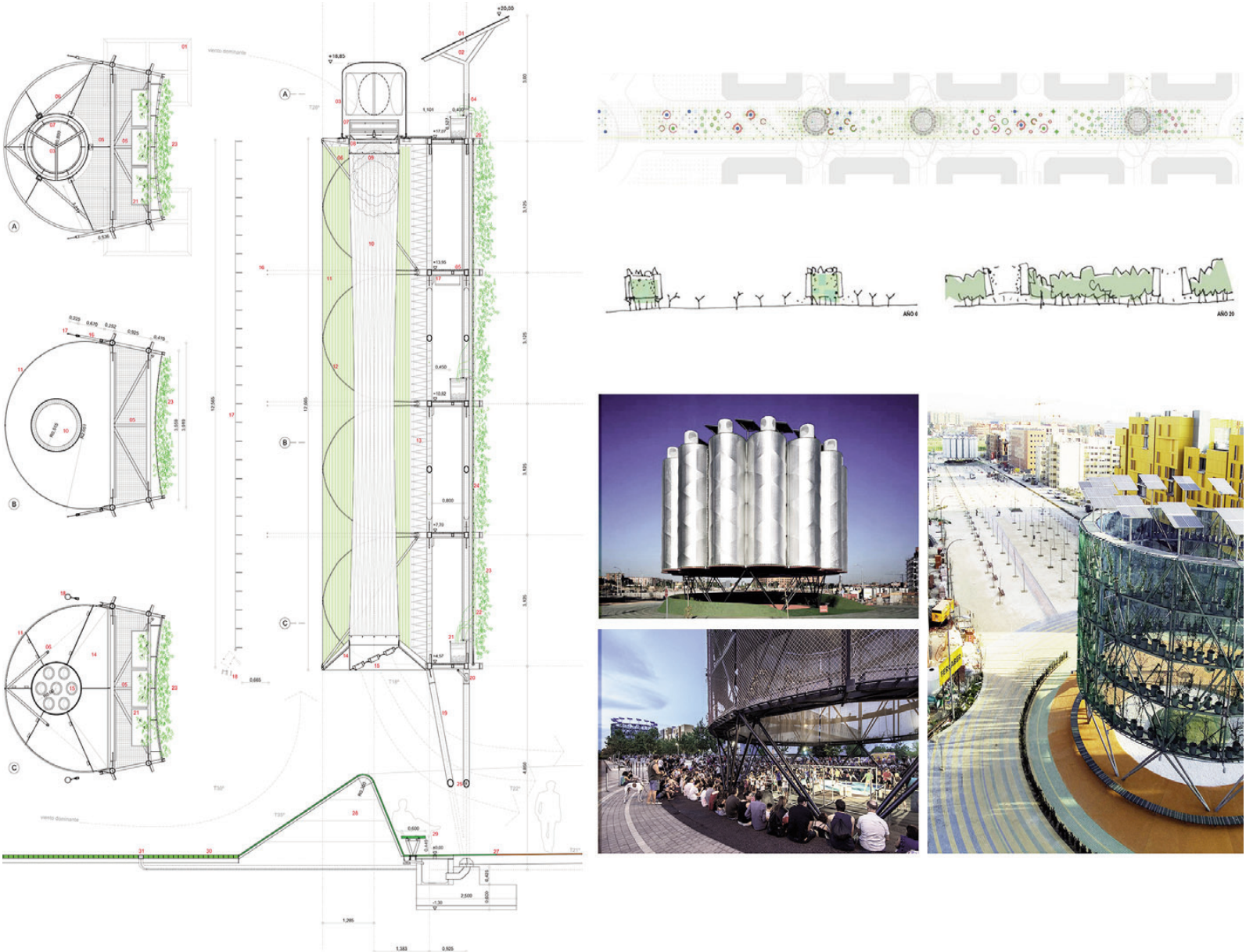


Fig. 4 | Waterfront redevelopment in West Palm Beach, Florida (2016-18), designed by Ecosistema Urbano: views (credit: Ecosistema Urbano, 2018).

Fig. 5 | Ecoboulevard in Vallecas (2004-07), designed by Ecosistema Urbano: plan, views, schematics and construction section (credit: Ecosistema Urbano, 2007).

Nell'integrazione degli elementi naturali, nella ricomposizione dei territori e nella ridefinizione delle reti, si può riconoscere una gestione delle risorse che anticipa lo sviluppo sostenibile; ciò che questi progetti mostrano è quanto le risorse naturali debbano essere – oltre che preservate – valorizzate per restituire una dimensione pubblica a questi territori dell'abbandono.

La trasformazione come paradigma territoriale

Nell'ormai famoso saggio di Gilles Clément (2005, p. 41), Manifesto del Terzo paesaggio, lo scrittore e biologo francese scrive: «Il Terzo paesaggio non ha scala [e poco più avanti aggiunge che] Gli strumenti di osservazione del Terzo paesaggio vanno dal satellite al microscopio». Le osservazioni di Clément esprimono la necessità di affrontare il tema dell'ambiente e della rigenerazione – di una transizione quindi intesa con diverse sfaccettature – attraverso un approccio che è possibile definire 'transcalare', capace di guardare 'dal satellite al microscopio'. Questa condizione mette in evidenza come il problema non sia più di natura contingente alle soluzioni legate a un singolo intervento, ma che è necessaria una visione a più ampia scala, in grado di mettere a sistema diversi interventi, al fine di pervenire a una transizione non solo di tipo energetico, dovuta a un uso consapevole delle risorse a disposizione, ma anche sociale, culturale, più generalmente, di metodo (Dessi, 2023).

Da questo punto di vista, in un importante resoconto pubblicato nel 2020⁸, Rem Koolhaas sottolinea come la civiltà contemporanea non possa basarsi solo sullo sviluppo e la costruzione delle città, ma come sia necessario individuare nuovi paradigmi, nuovi 'modelli', che tengano conto anche di altri fattori territoriali, definibili in maniera ampia 'countryside', e nel testo riconosciuti come 'ignored realm' (AMO and Rem Koolhaas, 2020). Quello di Rem Koolhaas, insieme al suo team di ricercatori, è un viaggio che rimette al centro il territorio non più solo come 'paradigma estetico', ma come un vero e proprio volano sperimentale di un nuovo concetto di abitare e di un rinnovato modo di intendere la natura.

Quella raccontata da Koolhaas è una forma di resistenza contro ciò che egli definisce Total Urbanization, in cui il territorio – countryside – diviene un luogo da 'riscoprire', dove 'poter rimanere vivi' (AMO and Koolhaas, 2020). Il modello alternativo al Total Urbanization, però, non è una de-urbanizzazione in nome di un atavico ritorno alla natura, che risulterebbe altrettanto nefasto e inattuabile, ma è un tipo di progettazione che tiene insieme urbano e naturale, antropico e vegetale, sistema di pieni e sistema di vuoti, una condizione questa già espressa da Koolhaas, in maniera sperimentale, nel progetto per la Ville Nouvelle (Fig. 8) di Melun-Sénart del 1987, sovrapponendo alla immagine suggestiva della campagna coltivata a sud dell'Île-de-France la considerazione: «It was heartbreaking, if not obscene [...] to have to imagine here, a city» (Koolhaas, 1995, pp. 972-973).

È la ricerca di un nuovo paradigma progettuale, in un territorio che non è solo campagna e non è solo città, un territorio complesso, che deve tenere insieme nel progetto diversi gradi di complessità, da comprendere attraverso un approccio quasi pittorico-figurativo che si traduce nell'ideazione

di un ideogramma, di un'astrazione, integrata alle forme del paesaggio precedentemente riconosciuto (Fig. 9). Ma, al di là di una condizione che potrebbe sembrare puramente 'utopica'⁹ o 'romantica', la riflessione avanzata da Koolhaas assume connotati estremamente concreti se paragonata alla condizione della città contemporanea, che per essere risolta deve necessariamente porsi il problema di come relazionarsi con il territorio, in tutte le sue sfaccettate eterogeneità.

Un approccio transcalare: il progetto per l'Internationale Bauausstellung Emscher Park

Per comprendere meglio questo approccio, che parte dalla scala ampia del paesaggio e del territorio, l'esempio dell'Internationale Bauausstellung Emscher Park in Germania rappresenta un modello assolutamente coerente ed estremamente fertile, rispetto alle riflessioni fin qui sviluppate. Il progetto di questa porzione di territorio, che interessa quasi per intero la Regione della Ruhr, è fortemente caratterizzato dalla sua collocazione: un'area posta tra due fiumi – la Ruhr e il Lippe – e attraversata nel mezzo da un terzo fiume, l'Emscher; limite occidentale di questi tre sistemi fluviali è il fiume Reno.

In un sistema territoriale molto complesso, il progetto ha previsto la riconversione di questa intera area passando dall'immagine di una regione storicamente industrializzata e a forte vocazione produttiva che nei secoli aveva strutturato e cambiato notevolmente il volto – non solo fisico – delle città e dei luoghi, a quella di un grande parco che comprende diciannove città e circa un centinaio di interventi (Fig. 10).

Il problema affrontato, dunque, non è stato solo di natura strettamente progettuale, legato alla riconversione di luoghi-edifici non più in uso e da rigenerare, ma ha rivolto l'attenzione verso una molteplicità di fattori: di natura economica, con un approccio che ha inteso ripensare integralmente lo sviluppo del territorio, secondo una nuova prospettiva; di natura sociale, utile per risolvere i problemi legati alla chiusura progressiva degli stabilimenti produttivi e al conseguente destino dei quartieri residenziali che erano nati durante il Novecento; e di natura storica, nell'intento di recuperare la capacità di raccontare lo sviluppo cronologico di questi luoghi, conservandoli nella loro immagine 'poetica', ma trasformandoli per una loro necessaria riattualizzazione.

L'interesse suscitato da questa sperimentazione a vasta scala è legato soprattutto al modo in cui tutti questi elementi si trovano a coesistere in un unico progetto, che proprio grazie alla sua pluralità, riesce a toccare diversi fattori. Ciò che viene messo in campo è un ripensamento totale della regione: l'urbano, la natura, la preesistenza archeologico-industriale, tutto ciò contribuisce a non stravolgere il territorio, ma a lavorare con ciò che esso mette – o ha messo – a disposizione, anche con le sue sovrapposizioni storico-geografiche, in un'armonia che si potrebbe definire corale.

A titolo esemplificativo, è possibile citare due casi di studio, tra i circa cento progetti che fanno parte dell'IBA Emscher Park: il Landschaftspark Duisburg-Nord, progettato da Peter Latz tra il 1990 e il 2002, e il progetto per l'area Zeche Zollverein Schacht XII a Essen, il cui Masterplan è stato curato e sviluppato da OMA tra il 2001 e il 2010. I due progetti fanno parte di momenti molto

diversi della pianificazione dell'intero parco ed esprimono, anche per questo, temi progettuali in parte distanti.

Il progetto per Duisburg-Nord, rientra nella formulazione di un grande Landschaftspark, in cui le precedenti infrastrutture e gli edifici potessero trovare una nuova armonia non solo funzionale, ma anche compositiva-relazionale con l'intorno urbano e periurbano (Fig. 11). Il progetto per l'area Zeche Zollverein rientra, invece, in quella operazione definita come Industrieland, che all'interno della pianificazione dell'IBA Emscher Park si è cercato di promuovere nel tempo, amplificata soprattutto dopo l'inserimento proprio dello Zeche Zollverein di Essen nel 2001 tra i siti UNESCO (Reicher, Million and Technische Universität Dortmund, 2008).

Nonostante l'attuale destinazione funzionale di alcuni spazi sia di chiaro orientamento artistico-culturale, il progetto per il Parco Duisburg-Nord si configura come una grande opera, interpretabile quasi come un'operazione di land art capace di tenere insieme paesaggio e riuso, una vera e propria ricerca 'figurativa' sul 'terzo paesaggio' (Fig. 12). Il progetto per il Zeche Zollverein, invece, sembra impostarsi su questioni diverse, che non riguardano più solo la rinnovata interazione 'estetica' tra archeologia industriale e territorio, ma cercano di tenere insieme anche temi di carattere economico, sociale e produttivo: una produttività altra, che non è più di tipo industriale, ma è turistica, artistica e culturale, un nuovo modo per mettere all'interno dello sviluppo urbano il tema della rigenerazione, del riuso, di una consapevolezza civile del significato di 'recupero' in senso estremamente contemporaneo (Fig. 13).

Eppure, nonostante le differenze che i due progetti mettono in campo, non solo progettuali e funzionali, ma anche di interazione tra preesistenza e contesto, da questo breve confronto è possibile trarre alcune riflessioni fondamentali (Fig. 14). In primo luogo la necessità di ripensare non i singoli casi, ma gli interi sistemi territoriali all'interno dei temi di riuso e di transizione attraverso un approccio 'transcalare' di rigenerazione che, non sia solo urbana. Questo tema della territorialità e della messa a sistema di vari 'luoghi' da riqualificare e riconnettere, come per l'IBA Emscher Park, permette infatti di generare un meccanismo rigenerativo assolutamente positivo che parte non dal singolo intervento, ma proprio dalla pluralità ed eterogeneità degli elementi esistenti, da un'azione corale estremamente significativa proprio se declinata in termini di transizione e trasformazione dell'impatto dell'architettura sul comparto produttivo ed energetico.

I 'residui' (friches) di cui ci parla Clément (2023), diventano un elemento valoriale della progettazione-pianificazione solo se messi a sistema tra loro, assumendo 'importanza strategica'. Lavorare con ciò che esiste non rappresenta, perciò, una rinuncia verso la trasformazione dei territori, ma è sinonimo di conoscenza e sensibilità rispetto ai caratteri dello stesso, in quanto una transizione energetica non può prescindere dallo studio, riuso e rimessa a sistema di ciò che è costruito, abbandonato e in attesa di recupero, in quanto nel manufatto e nel rapporto precostituito tra questo e il suo territorio esiste un'energia potenziale in essere, che l'azione del progetto è chiamata a sviluppare.

Progetto e consumo di suolo: nuove prospet-

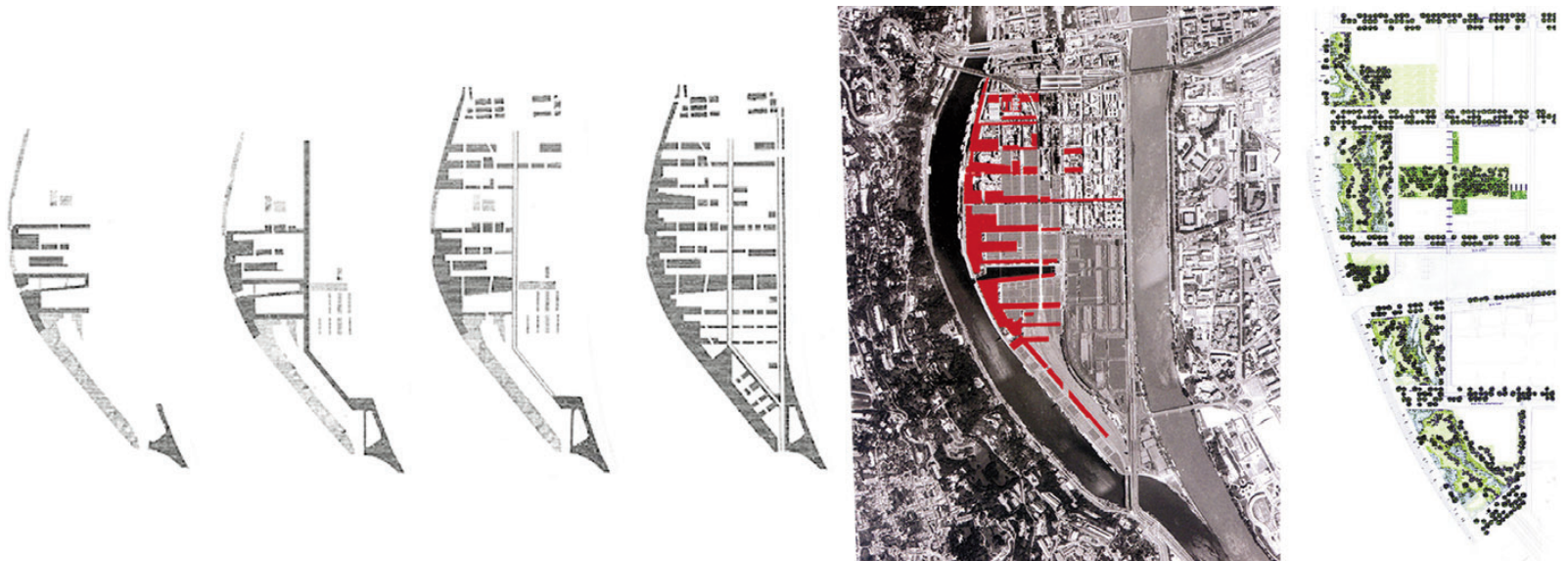


Fig. 6 | Lyon Confluence (2000-2004), designed by Michel Desvigne: schematics and floor plan (credit: M. Desvigne, 2000).

tive di rigenerazione | Il Report ISPRA (2023) dal titolo Consumo di Suolo, Dinamiche Territoriali e Servizi Ecosistemici evidenzia come l'impatto ecologico, paesaggistico, energetico riferito al consumo di suolo, in aree urbane e periurbane in Italia, sia un fattore determinante per l'equilibrio ecosistemico dei territori e per il loro futuro. La perdita di questo equilibrio comporta l'aumento e l'aggravarsi di eventi fortemente legati ai cambiamenti climatici: desertificazione dei suoli, isole di calore di tipo urbano e locale, impermeabilizzazione delle aree 'vergini' con conseguenti disastri idrici acuiti dall'errata gestione e salvaguardia dei canali presenti sui territori.

Inoltre, sempre secondo l'osservatorio ISPRA, è interessante notare come una delle maggiori cause negli ultimi anni dell'aumento dell'impermeabilizzazione e del consumo di suolo siano la costruzione, per esempio, di parchi fotovoltaici, spesso installati su suoli 'incontaminati', piuttosto che su aree già cementificate e compromesse: una situazione che comporta un intrinseco paradosso.

Alcune considerazioni che è possibile trarre dalla lettura e dallo studio di questi dati permettono di riflettere sulla necessità da un lato di progredire attraverso la ricerca tecnologica, mirando a combattere gli effetti dei cambiamenti climatici e a sensibilizzare verso i temi della transizione energetica strettamente collegati tra loro, dall'altro di considerare che il solo progresso tecnologico non sia del tutto sufficiente, ovvero che sia necessario un cambio di paradigma anche in termini progettuali – dalla scala territoriale a quella urbana e fino a quella locale – più sensibile e più attento alle conseguenze delle trasformazioni dei territori e a come queste necessarie trasformazioni siano messe in atto (Lauria and Azzalin, 2021).

Il progetto di architettura, alle sue diverse scale, può quindi trasformarsi in strumento attivo rispetto alle questioni afferenti la transizione energetica (Tucci, Altamura and Pani, 2023), sia con un approccio diretto, attraverso soluzioni specifiche che mirino a una maggiore 'sostenibilità' ambientale – con tutte le complessità e le contraddizioni che questo termine ormai porta con sé – ma anche indiretto, prestando attenzione a temi quali il riuso e la riduzione di materiali 'impattanti', la de-

pavimentazione e la rinaturalizzazione dei suoli impermeabilizzati e la progettazione delle aree verdi in aree urbane e periurbane, capaci di incidere su consumi e sprechi derivati dai processi edilizi, che potremmo definire 'tradizionali' e che risultano ancora oggi tra i processi industrializzati più energivori sul piano nazionale (Scalisi and Ness, 2022).¹⁰

È necessario, dunque, continuare a riflettere e a far emergere le possibilità che il progetto di architettura – inteso nella sua più ampia accezione – ha di migliorare la qualità urbana e ambientale, di poter essere un veicolo importante e necessario al raggiungimento di una efficace transizione energetica, a partire da un ripensamento dei modi di progettare e pensare il territorio e la città. In questo senso bisogna affrontare e rimettere in discussione alcuni temi, anche 'tipici' del campo della progettazione, come quello del 'vuoto', per esempio, inteso non più come 'residuo' di un'urbanizzazione totale e senza un vero controllo spaziale, ma come elemento attivo, quasi propulsivo, per la trasformazione dei territori, come mostrato dai due progetti di Desvigne.

I vuoti, infatti, non sono solo spazi non edificati, spazi di risulta delle lottizzazioni, terreni non coltivati delle periferie delle nostre città, le friches, come descritte da Gilles Clément (2023), ma sono anche territori e aree che attendono un rinnovamento, immensi spazi in disuso, che hanno già consumato il suolo e che sono i nuovi potenziali attrattori-trasformatori delle nostre città (Catalano et alii, 2023). I vuoti sono dunque anche i grandi manufatti dell'età post-industriale, i luoghi che hanno perso la loro identità e che, seppure sono stati strutturali e hanno definito la costruzione di un territorio in un'epoca più o meno recente, vivono ora in stato di abbandono; ma, nonostante questo nuovo 'patrimonio' a disposizione dei centri urbani, il consumo di suolo non si arresta, continua lo sfruttamento di terreni 'vergini' e continua anche un tipo di urbanizzazione poco attenta al riutilizzo delle materie già presenti.

I casi di studio e gli esempi trattati, seppur con il loro carattere plurale, eterogeneo per temi, modi, espressione, hanno dunque il valore non solo di esplicitare la condizione implicitamente trasfor-

mativa delle opere, ma di affrontare anche il progetto e il tema del riuso, della rinaturalizzazione dei suoli e del verde come paradigma di ordine compositivo, ovvero di un ordine che precede la tecnica e l'attuazione, e che prova a rimettere il sistema paesaggistico e territoriale al centro della discussione. Emerge la consapevolezza che la transizione energetica debba passare anche dai modi che abbiamo di interfacciarci e di costruire il nostro territorio di riferimento, nella consapevolezza di poter ottimizzare ciò che è già a nostra disposizione.

Il valore di questi casi di studio allora non risiede tanto nell'essere progetti esemplificativi, ma di essere riusciti a mettere in discussione alcuni elementi, condizioni, espressioni del progetto di architettura che troppo spesso ancora oggi faticano a essere scalfiti nelle pratiche comuni. Se si guarda a progetti più recenti, come al progetto KANAL dello studio Sergison Bates architects (2018-2025) per l'ex comparto industriale Yser Citroën a Bruxelles (Fig. 15; Atelier KANAL architects, 2022), per esempio, questo lavoro sul rapporto tra progetto ed esistente, tra spazio della dismissione e spazio di rinnovamento architettonico e urbano, sembra aver assunto contorni estremamente chiari, se paragonati ad alcuni progetti della prima metà degli anni '90 o dei primi anni 2000.

Seppur nella loro prorompente carica innovativa, questi progetti però sono ampiamente debitori di una sperimentazione architettonica che è ancora capace di suggestionare e definire un percorso di ricerca non esaurito, anzi che dimostra talvolta una 'contemporaneità' e una capacità dialettica che manifestazioni 'di moda' degli ultimi anni non sono in grado di fornire. La carica sperimentale ravvisabile in questi progetti è nella capacità anche di superare le singole contingenze progettuali per affrontare questioni di metodo, che permettono ancora oggi una riflessione critica e significativa sull'architettura e sul valore etico e pubblico che questa assume nella dimensione del progetto. Anche se non esplicitamente trattata nell'evoluzione di questi casi di studio la transizione energetica affiora nel saper riutilizzare e dialogare con i materiali esistenti, evitando sprechi, e quindi

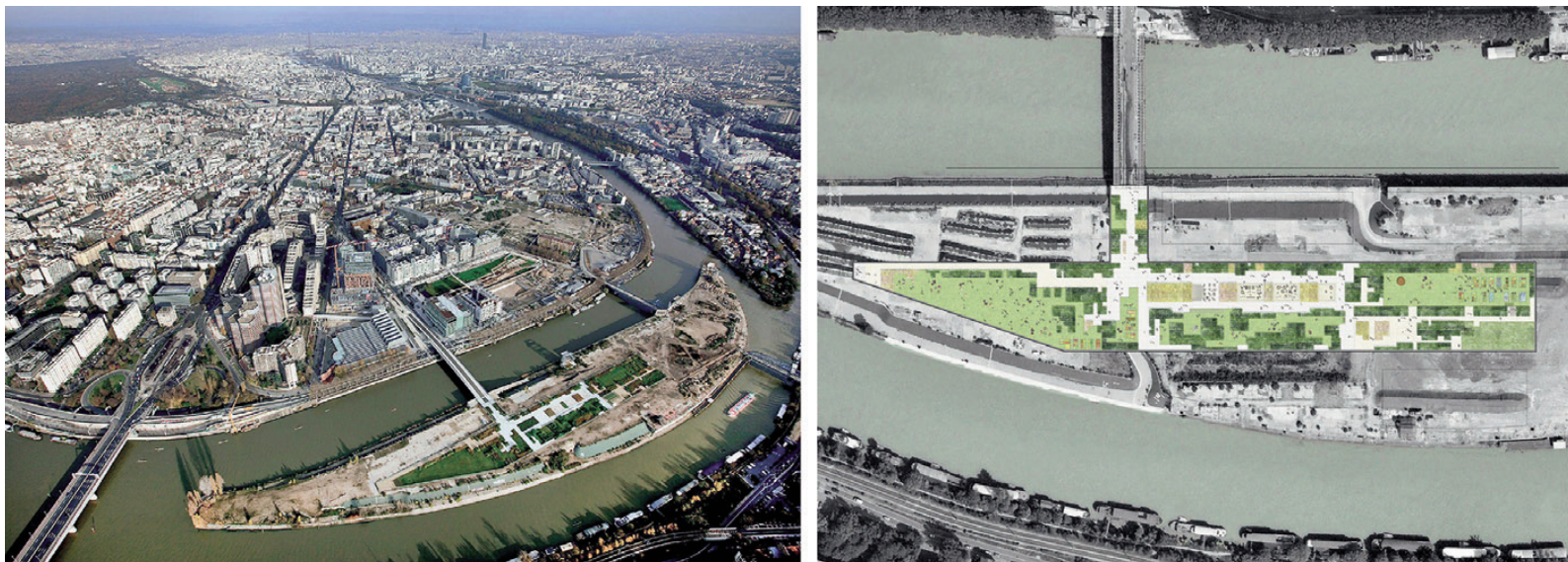


Fig. 7 | Île Seguin Prefiguration Garden in Paris (2010), designed by Michel Desvigne: view of the area and floor plan (credit: M. Desvigne, 2020).

nella consapevolezza dell'indiretta e diretta capacità dei processi costruttivi di incidere sulla questione energetica.

Solo attraverso una visione globale, infatti, è possibile una riforma sostanziale, ampliare il campo da singoli sistemi (ovvero singoli progetti), anche se necessari, a sistemi più complessi, forse rimettendo in gioco anche la questione di quale possa essere il volto della città della nostra epoca o l'ambizione di quale possa essere l'idea di città del nostro tempo (Olivieri, 2022). Eppure questa idea non è nuova: Le Corbusier (1979, p. 163) in *Precisazioni sullo Stato Attuale dell'Architettura e dell'Urbanistica*, pubblicato per la prima volta nel 1930, scriveva: «L'urbanistica che viene praticata oggi è soprattutto di tipo estetico – di abbellimento, di giardinaggio. Giocare 'ai pasticcini di sabbia' mentre la casa brucia. [...] non vogliamo morire di fame davanti alle aiuole fiorite dell'urbanistica esteticizzante»; e poi aggiunge, affrontando un altro tema fondamentale, ovvero quello della conoscenza di ciò che ci ha preceduto al fine di comprendere il senso del nostro agire: «Noi non sappiamo dove andare perché ignoriamo da dove veniamo. Abbiamo bisogno di una diagnosi e di una linea di comportamento».

The energy transition represents one of the most complex challenges of our time. Indeed, the goal of the European Green Deal (European Commission, 2019) to make Europe the first climate-neutral continent by 2050 includes a range of strategies, regulations, and new practices that need to be investigated to understand not only the impact on the sectors of energy production, transport industry, agriculture and construction, but also to reflect on the impact that the transition to the use of renewable sources may have on reducing consumption – energy and resources – through the adoption of alternative sources and a process that, as the text intends to highlight, «[...] The energy transition requires increasingly strong synergies between architecture and engineering, technology and local identities / communities, and natural and anthropic systems» (Thiébat, 2023, p. 41).

If technologies are increasingly part of the landscape, starting from the scale of architecture and up to that of extensive energy production facilities, it seems clear that the processes of transition in their implementation give concrete form to space: the relationship that binds them to the characters of permanence present in the 'built environment', confronts the heritages to be preserved and the processes that, if not adequately explored, risk contradicting their recognizability.

The retrofitting and regeneration of the existing built heritage is a central topic for reflection and experimentation because of the significant spin-offs it can bring about in terms of energy for the city. If brownfield sites offer an opportunity in this direction, it would be helpful, however, for this transformation process to take into consideration not only the architectural heritage as built, but also, considering the relationships between architecture and landscape, between the built environment and territorial systems, at the same time to enhance also their ecological characteristics to allow a real regeneration of these sites. In fact, these places represent an important and often unrecognised reservoir of biodiversity for the city that can give rise to new ecosystems (Lecardane, 2023), so the renunciation of a reading of open space and emptiness in this direction would risk de-figuring these places, the object of a re-functionalisation intervention rather than a recomposition.¹

It, therefore, seems necessary to understand 'reconversion' not in terms of the 'replacement' of other functions, but in the sense of the stitching together of relationships in a perspective of the overall redesign of the city. This approach also seems to align with the indications of the United Nations Economic Commission For Europe (UNECE, 2022), whose Guidelines include not only technological advancement, in the strict sense of a progression of materials and tools to facilitate the energy transition, but also the need to reflect on what are called zero-impact technologies, that is, technologies / methodologies that in 'passive' terms, and through critical procedures and good design practices, go to affect the transition and resilience of energy systems.

In this framework, a central resource is soil, whose net zero consumption is one of the main objectives at the European level by 2050 (European Commission, 2021), as is an alignment of consumption with population growth and a non-negative balance of land degradation by 2030 (UN, 2015). However, it should also be pointed out that, in Italy, the National Integrated Energy and Climate Plan – PNIEC (MASE, 2023) calls for 131 GW of renewable energy plants to be installed by 2030 with an increase in capacity of about 74 GW compared to 2021 (including 57 GW from photovoltaics and 17 GW from wind). Such an increase requires widely photovoltaic systems whose placement is planned either on the ground, in built-up areas such as roofs, rooftops, and service areas, or through the deployment of agrivoltaic systems. To meet these demands, the PNIEC also identifies as a priority the use of unproductive, abandoned or disused areas to be redeveloped for energy purposes.

In the light of the above premises, the contribution intends to emphasise how the scenarios evoked by 'decommissioning', 'abandonment', and 'emptiness' – the latter, especially of urban nature – offer the possibility of elaborating projects that significantly invest the city and the territory in a broad reflection of critical redesign, provided that these spaces are not interpreted solely as scenes for exemplary and demonstrative projects or as functional surfaces to host new facilities. Reading brownfields not in terms of vacant surface, but as opportunities for transformations in which nature and infrastructure interpenetrate, can be a strategy for restoring the territory to its balance, provided that we invent² – in the sense of finding – a structure to these spaces that allows for a new interpretation without erasing the memory of the past (Falzetti and Minuto, 2023).

With this in mind, the contribution, starting from the analysis of some case studies that in different European contexts have declined the issues of design composition in transitional areas, takes as reference and research paradigms the attention to the morphological value of the void and the transcalarity of interventions (Ingaramo et alii, 2023).

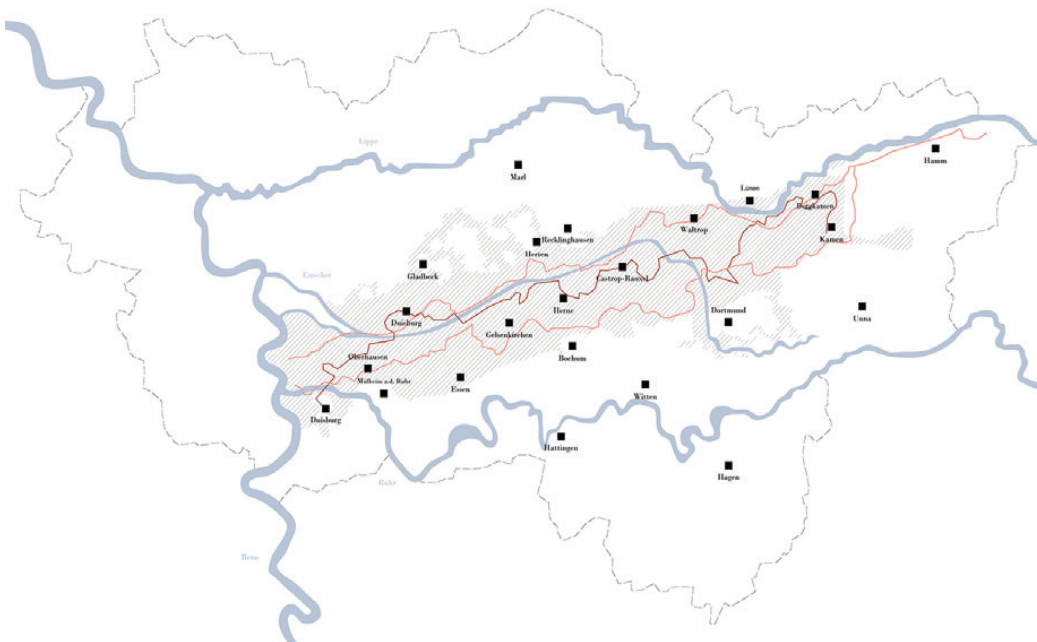
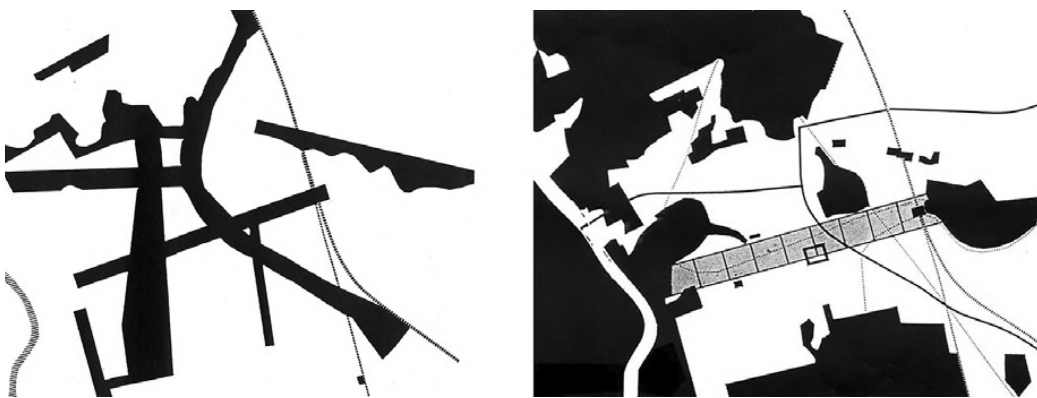
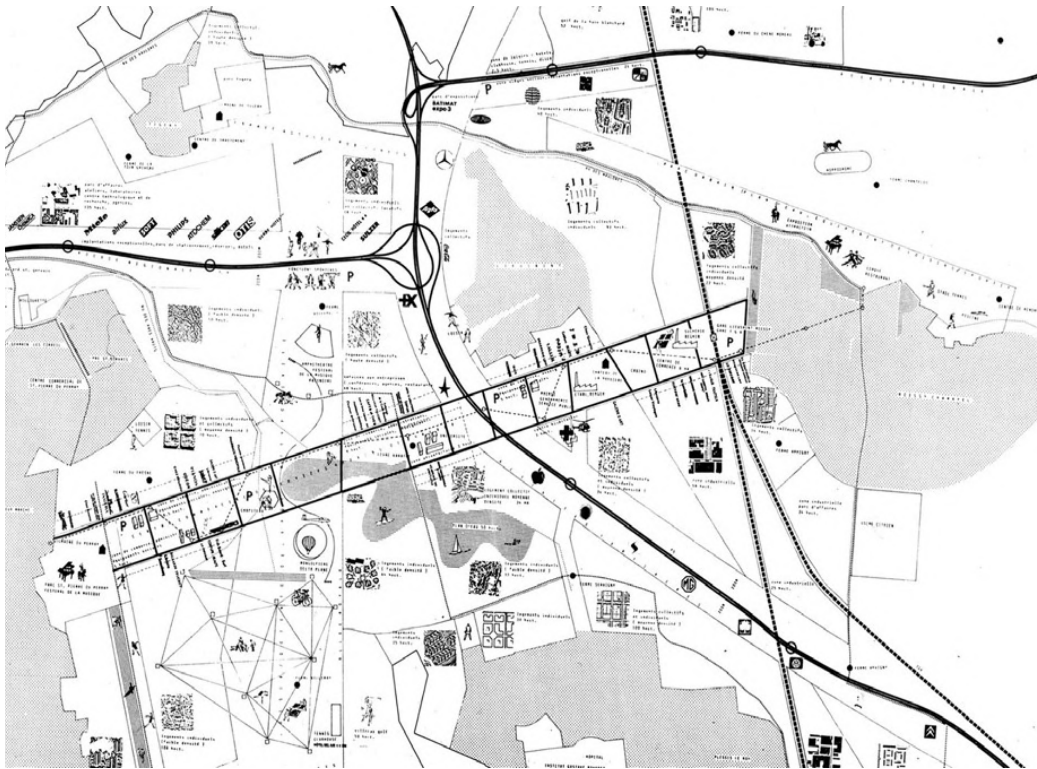


Fig. 8 | Ville Nouvelle in Melun-Sénart (1987), designed by OMA: project plan drawing (credit: OMA, 1987).

Fig. 9 | Ville Nouvelle in Melun-Sénart (1987), designed by OMA: ideogrammatic diagrams of the project and relationship to pre-existing land structures (credit: OMA, 1987).

Fig. 10 | Relationship between the Ruhr region and its river system with the extent of the Emscher Park IBA: pedestrian and bicycle crossing systems also highlighted (credit: the Authors, 2024).

The article, mainly addressed to architects, landscape architects and technologists, consists of five paragraphs: 'Process versus composition? Some European experiences of experimenting with the Architecture / Technology / Nature Relationship' introduces the theme by moving from some more recent projects investigating the relationships with innovative technologies and nature; 'Landscapes in Transition' presents a reflection on emptiness as a strategic design element; 'Transformation as a spatial paradigm' intends to go beyond the contingent approach for long-term considerations; 'A transcalar approach' illustrates case studies between pre-existence and context developed over large regional areas; 'Project and soil consumption', in the form of a reasoned conclusion, considers the role of design at different scales in a perspective of improving, not only aesthetic, but morphological urban and environmental quality.

Process versus composition? Some European experiments in the relationship between Architecture / Technology / Nature

In the 1970s, Cedric Price (2003) asserted that the purpose of architecture, rather than to satisfy desire, is to encourage people to behave, mentally and physically, in ways previously thought impossible, within the creative process claims a central role for technology as a process rather than product. According to the visionary British architect, this focus on the process should (or could) incentivise the architect to be more concerned with solving social problems aimed at 'utility' rather than being solely interested in the project's design, understood as a finished product.

According to this logic, the goal would be to learn new design languages capable of eschewing forms and artefacts of tradition accepted in an uncritical form. His design proposals, experimenting with open structures characterised by constructive flexibility and, at times, programmed obsolescence, define the game's rules and possible combinations that give rise to the final image only as a result of an open-ended process that the architect cannot fully control.³

While some of the basic assumptions proposed by Price can be fully shared, the text proposes a critical reflection on possible relationships between innovative technologies and design, in the name of energy and ecological transition that do not necessarily give rise to processes that nullify or mortify the role of composition and control of the final image of the project, nor at the same time deny the importance of an active dialogue between future users and architect. Secondly, the text proposes a reinterpretation of some projects not necessarily realised in recent years, with the intention of making explicit how research on these issues has been ongoing for quite some time, albeit sometimes using different terms for their narrative.

These were researches that did not only turn their attention towards aspects of a purely aesthetic nature – linked to the 'poetics' of individual authors – but also towards ethical-energetic-ecological values of the project at different scales, which involved spillovers of the design process on issues of energy, architectural and cultural transition. Pursuing such logic, a certain tendency in contemporary architecture uses slogans aimed at

making challenges and conditions understood exclusively as daughters of our time, when some basic concepts have actually run through not only recent architectural culture and history. Turning attention back to such experiences is, therefore, intended to promote critical reflection precisely against those many recent experiences that populate the current debate.

Dealing with the contemporary, some projects can be counted among those in which the relationship between architecture and nature constitutes a pivotal element of transformative processes that, while recovering some of the themes proposed by Price, also maintain a focus on the 'final product'. For example, several projects by Petra Blaisse's Inside Outside studio experiment with the project as a 'nature-inclusive' artefact⁴ in which new or regenerated architecture is integrated with ecological infrastructure supporting energy sustainability. In the residential tower RIF – Sluisbuurt Kavel 4° from 2021-2022, starting with some images of Alexander von Humboldt, the studio designs a bioreceptive housing tower that integrates vegetation, animals and insects on all its surfaces, following the slow rhythm of natural evolution⁵, to counteract the progressive loss of biodiversity that characterises our time and current conurbations (Fig. 1).

Similar principles form the basis of the 2022 project for the revitalisation and transformation of the industrial area of Gruze (Hochhaus Sulzerallee), or again the 2023 project for the redevelopment of a former gasometer in the City of Münster (Grüner (!)Konus; Fig. 2), whose slender structures fit within a dense urban forest, partly planted and partly spontaneous, enhancing the natural qualities of the site and enriching the experience of residents and visitors. It can be argued that the design drawings retrace, albeit in its visionary nature, Peter Latz's drawings for the Landschaftspark Duisburg-Nord of 2002, in which the theme of decommissioning meets a new relationship between architecture and nature, or perhaps again Mario Sironi's painting entitled 'Gasometro – Veduta di Città' (1943) where the forms of industry and the productive periphery, 'decadent' as they were considered at the time, become figurative relationships and art forms.

In the Iberian context, the Ecosistema Urbano studio, which has been operating since the early 2000s, declares its intentions right from the choice of its name. In recent years, its interventions have investigated the architecture / nature relationship from an energy perspective, both in relation to the design of public spaces and buildings. For example, the Malaga Campus of 2017 (Fig. 3) proposes the idea of an open and innovative campus that, to improve academic and social functions within public spaces, creates an attractive and comfortable natural environment, as well as incorporating technology that enables a new atmosphere of interaction between the physical and digital environment.

In the same years, the reactivation of the West Palm Beach waterfront (Fig. 4) integrates open space with that of the Banyan building to design a dynamic and inclusive urban centre in which activities and spaces are closely intertwined, providing access to a new urban waterscape.⁶

These projects continue research that began in the early years of the firm's activity with the 2004-

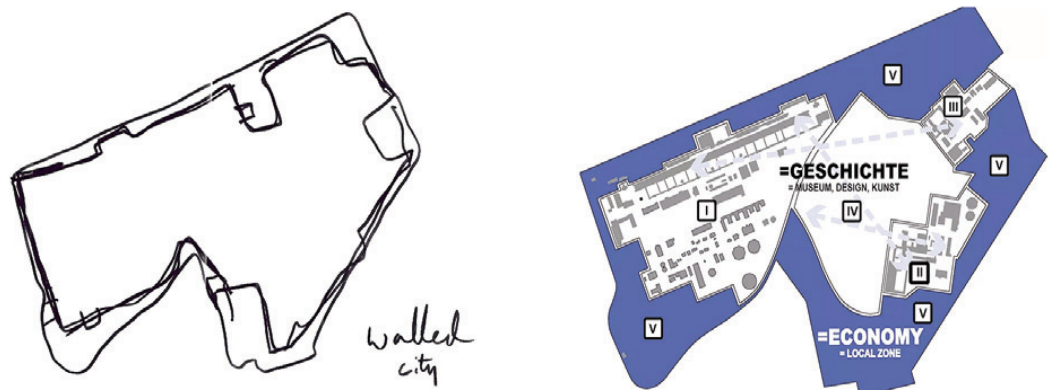
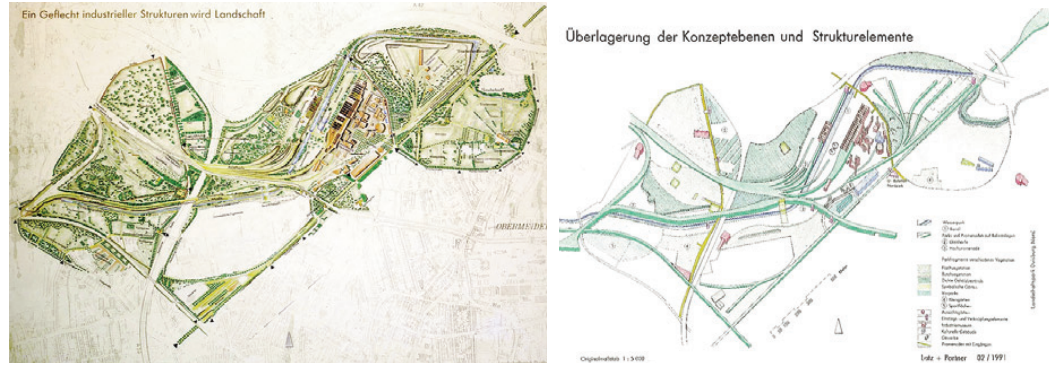


Fig. 11 | Landschaftspark Duisburg-Nord (1990-2002), designed by Peter Latz: planimetric and axonometric diagrams of the project (credit: P. Latz, 1991).

Fig. 12 | Landschaftspark Duisburg-Nord (1990-2002), designed by Peter Latz: the intervention on the Thyssen-Meiderich plant and relationship to the Park (credit: P. Latz, 2002).

Fig. 13 | Zollverein Masterplan (2001-2010), designed by OMA: plan and intervention schemes (credit: OMA, 2001).

Fig. 14 | Comparison of the Landschaftspark Duisburg-Nord (1990-2002), designed by Peter Latz, and the Zollverein Masterplan (2001-2010), designed by OMA: the relationship between design and pre-existence and the interaction with the re-naturalisation of the large Landschaftspark (credits: P. Latz, 2002; OMA, 2007).

2005 Ecoboulevard project in Vallecas⁷ (Fig. 5), which poses as its theme the redevelopment of the public space of one of those new boulevards produced by the new residential conurbation projects, often with a social character, that characterised the development of the City of Madrid in those years. The 'outsized' dimensions of 500 x 50 meters of the space of the 'street' that crosses in a north-south direction the area at the western end of the Ensanche de Vallecas made that place lacking in character, as well as in spatial quality, but above all, it posed critical conditions related to the 'thermal' sustainability and thus use of the space itself.

The redevelopment project of such a large unresolved space proposed an innovative urban redesign operation that would reconfigure the 'type section' of the avenue by inserting three ephemeral architectures in the form of cylindrical pavilions called 'air trees'. Such enclosures suspended from the ground define three places of possible aggregation, catalysts for different types of activities. Each pavilion consists of a galvanised steel structure that supports climbing plants that can build shaded, semi-enclosed plazas. While similar in size (17 meters high and 20 meters in diameter), each pavilion has its own character made recognisable by using specific materials and equipment. Finally, photovoltaic panels placed on the roof make the structures entirely self-sufficient.

Environmentally, these pavilions make up for the absence of greenery in an immediate form, using simple evaporative / transpirative climate control systems borrowed from systems used in greenhouses by the agricultural industry. Over time, the project envisions an inversion between solids and voids, whereby the tree system planted outside the structures, once grown, will give way to three open-air rooms, intended as 'clearings in the forest' (Tato, Vallejo and García-Setién, 2006).

The innovative character of the proposal lies in the search for a balance between the use of space and nature, between process and form, in a fruitful dialogue between the construction system of the support – manifest of artificiality – and nature. The firm's proposals manifest, in general, the constant presence of a protection of the environment in which architects operate, a permanent investigation to defend the precarious balance of what is built, a commitment, a quest to achieve a culture of climate control through mechanical control, human habits or building systems capable in some way of copying nature's behaviours (Pérez Arroyo, 2006).

Beginning with the image of such more recent visionary projects, the following paragraphs will trace the vicissitudes of some less recent projects that have charted some paths, in order to strongly emphasise how a chase after technology or the most immediate answer is not always necessary, but how the project must substantiate itself on slow reflection, on the depositing of knowledge, understood as a critical tool.

Landscapes in transition: emptiness as a foundational structure in some of Michel Desvigne's projects | Reflecting on the theme of brownfields, as early as 1990, Vittorio Gregotti, from the pages of *Rassegna*, emphasised the urgency of paying new attention to these territories of abandonment in 'morphological' as well as 'ecological'

terms. Their delineation as design objects, today as then, makes them opportunities for an alternative reading of the way the city is built and offers 'an extraordinary opportunity for territorial rebalancing, for a new and more coherent logic of network of services and infrastructures' (Gregotti, 1990).

An interpretation emerges that considers brownfields from the perspective of reactivating a lot made available again, but within a strategy to enhance multiple valences with the surrounding context. Thinking about Plans for the reconversion of productive landscapes, which once arose under the impetus of industrialisation processes that subjected the territory to its own needs to the exclusion of the city and the environment, means proposing solutions for the recomposition of large-scale relations with the landscape and its geography. In the motion of withdrawal of human activity from vast portions of the territory, it is indeed possible to recognise a propositional tension toward a horizon of transformation hypotheses that make these voids a potential resource for the city as a whole.

Without a real questioning of what already exists there is a risk that the city will once again show itself incapable of returning these spaces to a public dimension. Therefore, it appears necessary to recover the ability to imagine these territories, before designing them, confronting a dilated time that does not think of the contingent, but reflects on the future in order to be able to give back to the city its memory, pursuing a transformative logic, rather than a purely innovative one. The transformation of these spaces, in fact, arises within the debate on the energy transition, but questions the frictions and conflicts that risk being generated without a full awareness of the inherent dependence between energy, resources and urban design.

It is not the single object, but the attention to the relationship between the parts and to the sequences and hierarchies that needs to be investigated and thus designed; it is like a connective void that offers itself as an element capable of re-establishing an order and a measure, revealing its quality as a space in waiting, a theatre of possible new uses and transformations: a void that is declined in the form of open spaces and land design understood as a resource.

An admirable example is Michel Desvigne's Lyon Confluence project (Fig. 6), where greenery assumes the role of a supporting structure that takes advantage of the fragmentation of the territory to create a provisional system of parks 'waiting' for future transformations; where the assignment suggested the composition of a unitary park of thirty hectares, the proposal hypothesises a diffuse and mobile 'park system' that immediately invests, temporarily or definitively, every single available external surface (Desvigne, 2001).

But so is the intervention for Île Seguin in Paris (Fig. 7), where the project is conceived as 'a kind of foundational element', a primal layer that will evolve as urban development and redevelopment interventions extend (Desvigne and Ceriolo, 2015). The intervention plays the role of the 'observatory' of the area under construction and hub for new neighbourhood activities (Desvigne, 2012); in this way, the garden anticipates the planning of the entire site, a synecdoche of the future park. Of considerable interest in the economy of the pre-

sent contribution is not only the work carried out in 2020, but the image that the garden designed by Desvigne anticipates: by pre-figuring the future garden by stages of development between them, the author works by dynamic processes through which, like nature, the city can build itself.

These projects participate in models oriented to a new sensitivity for Nature, understood not as an inselvation, the result of a suspension of judgment, but as a support to anchor the territorial development strategy. They are projects in which greenery is no longer just a residual form that identifies waste spaces, but a material capable of dictating future metamorphoses of the site; spaces subject to further potential transformations, 'intermediate natures' capable of playing on duration and impermanence, in which time becomes a determining factor; landscapes in transition that design spaces 'in power' in which the search for a new vocabulary is accomplished through which 'precariousness ensures great durability' (Desvigne, 2012).

In integrating natural elements, recomposing territories, and redefining networks, one can recognise resource management that anticipates sustainable development; these projects show how natural resources must be valued and preserved in order to restore a public dimension to these abandoned territories.

Transformation as a spatial paradigm | In Gilles Clément's (2005, p. 41) now famous essay, *Manifesto of the Third Landscape*, the French writer and biologist states that the Third Landscape has no scale and its tools of observation range from the satellite to the microscope. Clément's remarks express the need to address the issue of environment and regeneration – of a transition therefore understood with different facets – through an approach that can be described as 'transcalar', capable of looking 'from the satellite to the microscope'. This condition highlights how the problem is no longer contingent in nature on solutions linked to a single intervention, but that a broader scale vision is needed, capable of systemising different interventions, in order to achieve a transition not only of an energetic kind, due to a conscious use of available resources, but also social, cultural, more generally, of method (Dessi, 2023).

From this point of view, in an important account published in 2020⁸, Rem Koolhaas emphasised how contemporary civilisation cannot be based only on the development and construction of cities, but also how it is necessary to identify new paradigms, new 'models', that also take into account other territorial factors, broadly defined as 'countryside', and in the text recognised as 'ignored realm' (AMO and Rem Koolhaas, 2020). Rem Koolhaas's research, together with his team of researchers, is a journey that puts the territory back at the centre, no longer just as an 'aesthetic paradigm', but as a real experimental driver of a new concept of living and a renewed way of understanding nature.

The one recounted by Koolhaas is a form of resistance against what he calls Total Urbanization, in which the land – the countryside – becomes a place to be 'rediscovered', where 'we can stay alive' (AMO and Koolhaas, 2020). The alternative model to Total Urbanization, however, is not a deurbanization in the name of an atavistic return to

nature, which would be equally nefarious and unworkable, but is a type of design that holds together an urban and natural, anthropic and vegetal, system of solids and system of voids, a condition this already expressed by Koolhaas, experimentally, in the project for the Ville Nouvelle (Fig. 8) of Melun-Sénart in 1987, where superimposed on an evocative image of the cultivated countryside south of the Île-de-France, he writes: «It was heartbreaking, if not obscene [...] to have to imagine here, a city» (Koolhaas, 1995, pp. 972-973).

It is the search for a new design paradigm in a territory that is not only countryside and not only city, a complex territory, which must hold together in the project these different degrees of complexity, which try to be understood through this almost pictorial-figurative approach that results in the ideation of an ideogram, an abstraction, but interpenetrated to the forms of the previously recognised landscape (Fig. 9). But beyond a condition that might seem purely 'utopian'⁹ or 'romantic', the reflection advanced by Koolhaas takes on extremely concrete connotations when compared to the condition of the contemporary city, which to be resolved must necessarily pose the problem of how to relate to the territory, in all its multifaceted heterogeneities.

A transcalar approach: the Internationale Bauausstellung Emscher Park project

In order to better understand this approach, which starts from the broad scale of landscape and territory, the example of the Internationale Bauausstellung Emscher Park in Germany represents an absolutely coherent and extremely fertile model with respect to the reflections developed so far. The design of this portion of land, which affects almost the entire Ruhr Region, is strongly characterised by its location: an area set between two rivers – the Ruhr and the Lippe – and crossed in the middle by a third river, the Emscher. The western boundary of these three river systems is the Rhine River.

In a very complex territorial system, the project envisaged the reconversion of this entire area, moving from the image of a historically industrialised region with a strong manufacturing vocation, which over the centuries had structured and significantly changed the face – not only physical – of cities and places, to that of a large park encompassing nineteen cities and about a hundred interventions (Fig. 10).

The problem addressed, therefore, was not only of a strictly planning nature, related to the re-conversion of places-buildings no longer in use and to be regenerated-but turned its attention to a multiplicity of factors: of an economic nature, with an approach that aimed to rethink the development of the area in its entirety, according to a new perspective; of a social nature, helpful in solving the problems related to the progressive closure of the manufacturing plants and the consequent fate of the residential neighbourhoods that had sprung up during the twentieth century; and of a historical nature, with the intention of recovering the ability to recount the chronological development of these places, preserving them in their 'poetic' image, but transforming them for their necessary re-actualisation.

The interest aroused by this large-scale experimentation is related above all to how all these elements are found to coexist in a single project,



Fig. 15 | KANAL in Brussels (2018-2025), designed by Sergison Bates architects: the transformation of the former Yser Citroën factory in downtown Brussels as a centre for modern and contemporary arts (credit: Sergison Bates architects, 2018).

which, precisely because of its plurality, manages to touch different factors. What is being brought into play is a total rethinking of the Region: the urban, the natural, the archaeological-industrial pre-existence, all contributing not to distort the territory, but to work with what it makes – or has made – available, even with its historical-geographical overlaps, in a harmony that could be called choral.

By way of illustration, two case studies can be cited from among the hundred or so projects that are part of the IBA Emscher Park: the Landschaftspark Duisburg-Nord, designed by Peter Latz between 1990 and 2002, and the project for the Zeche Zollverein Schacht XII area in Essen, whose Masterplan was curated and developed by OMA between 2001 and 2010. The two projects are part of very different moments in planning the entire park and express, partly because of this, partly distant design themes.

The project for Duisburg-North, is part of the formulation of a large Landschaftspark, in which the former infrastructure and buildings could find a new harmony not only functional, but also compositional-relational with the urban and peri-urban surroundings (Fig. 11). The project for the Zeche Zollverein area, on the other hand, is part of that operation defined as *Industriekultur*, which within the planning of the IBA Emscher Park has been sought to promote over time, amplified especially after the inclusion of precisely the Zeche Zollverein in Essen in 2001 as a UNESCO site (Reicher, Million and Technische Universität Dortmund, 2008).

Even though the current functional use of some spaces is of a clear artistic-cultural orientation, the project for the Duisburg-North Park is configured as a major work, interpretable almost as a land-art operation capable of holding together landscape and reuse, real 'figurative' research on the 'third landscape' (Fig. 12). The project for the Zeche Zollverein seems to be set on different issues, which no longer concern only the renewed

'aesthetic' interaction between industrial archaeology and the territory, but also try to hold together economic, social and productive issues: a different productivity, which is no longer industrial, but is touristic, artistic and cultural, a new way of putting within urban development the theme of regeneration, reuse, civic awareness of the meaning of 'recovery' in the very contemporary sense (Fig. 13).

Yet, despite the differences the two projects bring to the table, not only in design and function, but also in the interaction between pre-existence and context, several key reflections can be drawn from this brief comparison (Fig. 14). First, the need to rethink not individual cases, but entire territorial systems within the themes of reuse and transition through a 'transcalar' approach of regeneration that, is not only urban. In fact, this theme of territoriality and the systematisation of various 'places' to be redeveloped and reconnected, as for the IBA Emscher Park, allows for the generation of an absolutely positive regenerative mechanism, which starts not from the single intervention, but precisely from the plurality and heterogeneity of existing elements, from a choral action that is highly significant precisely when declined in terms of transition and transformation of the impact of architecture on the productive and energy sector.

The 'residues' (*friches*) of which Clément (2023) speaks to us become a value element of design-planning only if they are brought into the system with each other, assuming 'strategic importance'. Working with what exists does not, therefore, represent a renunciation toward the transformation of territories, but is synonymous with knowledge and sensitivity with respect to the characters of the same, since an energy transition cannot disregard the study, reuse and re-systematisation of what is already built, abandoned and awaiting recovery, since in the artefact and the pre-established relationship between it and its territory there

is a potential energy in being, which the action of the project is called upon to develop.

Project and soil consumption: new perspectives for regeneration | The ISPRA Report (2023) entitled *Soil Consumption, Territorial Dynamics and Ecosystem Services* highlights how the ecological, landscape, and energy impacts referred to soil consumption – in urban and peri-urban areas in Italy – are a determining factor for the ecosystem balance of territories and their future. The loss of this balance leads to the increase and aggravation of events strongly linked to climate change: desertification of soils, urban and local heat islands, waterproofing of 'virgin' areas with consequent water disasters exacerbated by the mismanagement and preservation of the channels present in the territories.

Moreover, according to the ISPRA observatory, it is interesting to note that one of the major causes in recent years of the increase in soil sealing and consumption is the construction, for example, of photovoltaic parks, often installed on 'pristine' soils, rather than on already cemented and compromised areas: a situation that entails an intrinsic paradox.

Some of the notes that can be drawn from reading and studying these data allow us to reflect on the need, on the one hand, to make progress through technological research, aiming to combat the effects of climate change and to raise awareness towards the issues of energy transition closely linked, on the other hand, to consider that technological progress alone is not entirely sufficient, i.e., that a paradigm shift is also needed in terms of planning – from the territorial to the urban and up to the local scale – which is more sensitive and more attentive to the consequences of the transformations of territories and how these necessary transformations are implemented (Lauria and Azzalini, 2021).

Architectural design, at its different scales, can thus turn into an active tool with respect to issues pertaining to the energy transition (Tucci, Altamura and Pani, 2023), both with a direct approach, through specific solutions aiming at more significant environmental 'sustainability' – with all the complexities and contradictions that this term now brings – but also indirectly, by paying attention to issues such as the reuse and reduction of 'impactful' materials, the depaving and re-naturalisation of impermeable soils and the design of green areas in urban and peri-urban areas, capable of affecting consumption and waste derived from building processes, which we could define as 'traditional' and which are still among the most energy-consuming industrialised processes nationwide (Scalisi and Ness, 2022).¹⁰

It is necessary, therefore, to continue reflecting and highlighting the possibilities that architectural design – understood in its broadest sense – has to improve urban and environmental quality to be able to be an important and necessary vehicle for the achievement of an effective energy transition, starting from a rethinking of ways of designing and thinking about the territory and the city. In this sense, some themes, even 'typical' of the field of design, need to be addressed and questioned, such as that of 'emptiness', for example, understood no longer as a 'residue' of total urbanisation and without real spatial control, but as

an active, almost propulsive, element for the transformation of territories, as shown by Desvigne's two projects.

The voids are not only the unbuilt spaces, the waste spaces of the allotments, the uncultivated lands of the suburbs of our cities, and the friches, as described by Gilles Clément (2023), but they are also the territories and areas that are waiting for renewal, immense disused spaces that have already consumed the soil and that are the new potential attractors-transformers of our cities (Catalano et alii, 2023). The voids are, therefore, also the great artefacts of the post-industrial age, the places that have lost their identity and that, although they defined the construction of territory in a more or less recent era, now live in a state of abandonment; despite this new 'heritage' at the disposal of urban centres, land consumption does not stop, the exploitation of 'virgin' land continues, and a type of urbanisation that pays little attention to the reuse of the materials already present also continues.

The case studies and examples discussed, albeit with their plural character, heterogeneous in terms of themes, modes, and expression, thus have the value not only of making explicit the implicitly transformative condition of the works, but also of addressing the project and the theme of reuse, the re-naturalisation of soils and greenery as a paradigm of a compositional order, that is, of an order that precedes technique and implementation, and that tries to put the landscape and territorial system back at the centre of the discussion. What emerges is the realisation that the energy transition must also pass through the ways we interface with and construct our reference territory, with the awareness that we can optimise what is already available to us.

The value of these case studies then lies not so much in being exemplary projects, but in having succeeded in questioning certain elements, conditions, and expressions of architectural design that all too often still struggle to be undermined in everyday practices. If we look at more recent projects, such as Sergison Bates architects' KANAL project (2018-2025) for the former Yser Citroën industrial estate in Brussels (Fig. 15; Atelier KANAL architects, 2022), for example, this work on the relationship between project and existing, between the space of decommissioning and the space of architectural and urban renewal, seems to have taken on extremely clear contours, when compared to some projects from the first half of the 1990s or early 2000s.

Even in their bursting innovative charge, however, these projects are largely indebted to architectural experimentation that is still capable of suggesting and defining a path of research that is not exhausted, indeed that sometimes demonstrates a 'contemporaneity' and dialectical capacity that 'fashionable' manifestations of recent years are unable to provide. The experimental charge discernible in these projects is in the ability to transcend individual design contingencies to address questions of method, which still allow for a critical and meaningful reflection on architecture and the ethical and public value it assumes in the project dimension. Although not explicitly addressed in the evolution of these case studies, the energy transition surfaces in the ability to reuse and dialogue with existing materials, avoiding waste and

in the awareness of the indirect and direct capacity of construction processes to affect the energy issue.

Only through a global vision, in fact, is substantial reform possible, broadening the field from single systems (i.e., single projects), even if they are necessary, to more complex systems, perhaps even bringing back into play the question of what the face of the city of our time might be or the ambition of what the idea of the city of our time might be (Olivieri, 2022). Yet this idea is not new; Le Corbusier (1979, p. 163), in *Precisions on the Present State of Architecture and Urbanism*, first published in 1930, addressed two fundamental issues: according to the Master, the Urbanism practised in the 1930s was mainly aesthetic, beautification, and gardening; secondly, concerning knowing what came before us in order to understand the meaning of our actions, he argued that man often does not know where to go because he does not know where he came from; he needs a diagnosis and a course of action.

Acknowledgements

The contribution is the result of a common reflection of the Authors in the general outline and final revision. Notwithstanding, the introductory paragraph and 'Landscapes in transition: emptiness as a foundational structure in some of Michel Desvigne's projects' are to be attributed to G. Comi, the paragraph 'Process versus composition? Some European experiences of experimenting in the relationship between Architecture / Technology / Nature' to C. Pirina, the paragraphs 'Transformation as a spatial paradigm', 'A transcalar approach: the Internationale Bauausstellung Emscher Park project' and 'Project and soil consumption: new perspectives for regeneration' to V. D' Abramo.

The following contribution is part of the research that the Authors conducted within iNEST – Spoke 4. The project is funded by the European Union – NextGenerationEU. However, the points of view and opinions expressed are only those of the Authors and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Commission; neither the European Union nor the European Commission can be held responsible for them.

Notes

1) The term is used here to describe a synthesis process between elements, systems, or terms that appear to be antithetical; such an operation is possible when, instead of conflicting tension, a mutual influence is established between these components and produces a balance.

2) The term 'invent,' derived etymologically from the Latin 'invenire', denotes the outcome of a search to find what is in a given place.

3) Without claiming exhaustiveness, only the Fun Palace (1961) and InterAction Centre (1972) projects are mentioned.

4) For more information, see the webpage: insideoutside.nl/Landscapes/Gruner-I-Konus [Accessed 3 May 2024].

5) For more information, see the webpage: insideoutside.nl/Landscapes/RIF-Sluisbuurt-Kavel-4a [Accessed 3 May 2024].

6) Both projects were competition winners and are in progress today. For more information, see the webpage: ecosistemaurbano.com/es/campus-universidad-de-malaga/; ecosistemaurbano.com/es/open-shore/ [Accessed 3 May 2024].

7) The project, co-funded by the European Union – LIFE-2002 Program (ENV/E/000198), was awarded the AR Prize, sponsored by Architectural Review magazine, in 2007 for a 'strong sense of environmental responsibility'.

8) The book edited by AMO and Rem Koolhaas (2020) referred to is *Countryside – A Report*; it was published on the occasion of the exhibition *Countryside – The Future*, which was held at the Solomon R. Guggenheim in New York from February 20 to August 14, 2020.

9) According to Rem Koolhaas, 'utopia' is a state, not a colony of artists; it is the unmentionable secret of all architecture, even the most degraded: deep inside all architecture, no matter how naive or implausible, is the claim to improve the world (Koolhaas, 2021).

10) In this regard, significant research has been conducted and is being conducted within the iNEST – Spoke 4 consortium regarding energy production/consumption issues in the Triveneto area and scenarios related to recycling and reuse of building materials and processes.

References

AMO and Koolhaas, R. (2020), *Countryside – A Report*, Taschen, Colonia.

Atelier KANAL architects (2022), *Kanal – Thinking Making Sharing*, London.

Catalano, C., Hauck, T. E., Ahn, S. and Pasta, S. (2023), "Paesaggi senza architetti del paesaggio – La bellezza ecologica dei paesaggi urbani informali | Landscapes without landscape architects – On the ecological beauty of informal urban landscapes", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 13, pp. 57-66. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1342023 [Accessed 12 March 2024].

Clément, G. (2023), *Il Giardino in movimento* [or. ed. *Le jardin en mouvement*, 1991], Quodlibet, Macerata.

Clément, G. (2005), *Manifesto del Terzo Paesaggio*, Quodlibet, Macerata.

Dessi, A. (2023), "Camminare nel selvatico – Per una transizione verso un paesaggio coevolutivo | Walking into the wild – A transition to a co-evolutionary landscape", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 13, pp. 131-140. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/13112023 [Accessed 12 March 2024].

Desvigne, M. and Ceriolo, L. (2015), "Il giardino metamorfico sull'Île Seguin, Parigi", in *Espazium*, 19/10/2015. [Online] Available at: espazium.ch/it/attualita/il-giardino-metamorfico-sullile-seguin-parigi [Accessed 12 March 2024].

Desvigne, M. (2012), "Il paesaggio come punto di partenza", in *Lotus*, vol. 150, pp. 20-27.

Desvigne, M. (2001), "Lyon Confluence", in *Archi | Rivista Svizzera di Architettura, Ingegneria e Urbanistica*, vol. 3, pp. 18-23. [Online] Available at: e-periodica.ch/digbib/view?pid=arc-001%3A2001%3A0%3A%3A206&referrer=search#206 [Accessed 27 April 2024].

European Commission (2021), *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – EU Soil Strategy for 2030 – Reaping the benefits of healthy soils for people, food, nature and climate*, document 52021DC0699, 699 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021DC0699 [Accessed 12 March 2024].

European Commission (2019), *Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – The European Green Deal*, document 52019DC0640, 640 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN [Accessed 16 October 2023].

Falzetti, A. and Minuto, G. (2023), "L'anima sostenibile del passato – Imparare dal presente per rigenerare spazi urbani inattuali | The sustainable soul of the past – Learning from the present to regenerate outdated urban spaces", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 13, pp. 109-118. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1392023 [Accessed 12 March 2024].

Gregotti, V. (1990), "Editoriale", in *Rassegna*, vol. 42, pp. 4-5.

ISPRA (2023), *Consumo di Suolo, Dinamiche Territoriali e Servizi Ecosistemici*, Report SNPA n. 37/2023. [Online] Available at: snpambiente.it/snpa/consumo-di-suolo-dinamiche-territoriali-e-servizi-ecosistemici-edizione-2023/ [Accessed 12 March 2024].

Ingaramo, R., Negrello, M., Khachatourian Saradehi, L. and Khachatourian Saradhi, A. (2023), "Il progetto transcalare delle nature-based solutions per l'Agenda 2030 – Innovazioni e interconnessioni | Transcalar project of nature-based solutions for the 2030 Agenda – Innovations and interconnections", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 13, pp. 97-108. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1382023 [Accessed 12 March 2024].

Koolhaas, R. (2021), *Testi sulla (non più) città*, Quodlibet, Macerata.

Koolhaas, R. (1995), "Surrender", in Koolhaas, R. and Mau, B., *S,M,L,XXL*, The Monacelli Press, New York, pp. 972-989.

Lauria, M. and Azzalin, M. (2021), "Paradigmi | Paradigms", in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 9, pp. 12-21. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/912021 [Accessed 12 March 2024].

Lecardane, R. (2023), "Natura capitale – Transizione ecologica e fenomeni di trasformazione dello spazio aperto | Nature capital – An ecological transition and open space transformation phenomena", in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 13, pp. 119-130. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/13102023 [Accessed 12 March 2024].

Le Corbusier (1979), *Precisazioni sullo Stato Attuale dell'Architettura e dell'Urbanistica*, Laterza, Bari.

MASE – Ministero dell' Ambiente e della Sicurezza Energetica (2023), *Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima*. [Online] Available at: mase.gov.it/sites/default/files/PNIEC_2023.pdf [Accessed 12 March 2024].

Olivieri, F. (2022), "Progettazione simbiotica per un ecosistema urbano resiliente | Symbiotic design for a resilient urban ecosystem", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 11, pp. 40-49. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1132022 [Accessed 12 March 2024].

Pérez Arroyo, S. (2006), "Manual de supervivencia", in Tato, B., Vallejo, J. L. and García-Setién, D. (2006), *Ecosistema urbano*, Monoespacios, vol. 8, Fundación COAM, Madrid, pp. 4-9.

Price, C. (2003), "Creatividad y tecnología", in *Oeste | Revista de Arquitectura y Urbanismo del Colegio Oficial de Arquitectos de Extremadura*, vol. 16, pp. 1-9.

Reicher, C., Million, A. and Technische Universität Dortmund (2008), *International Building Exhibition Emscher Park – The projects 10 years later*, Klartext, Essen.

Scalisi, F. and Ness, D. (2022), "Simbiosi tra vegetazione e costruito – Un approccio olistico, sistemico e multilivello | Symbiosis of greenery with built form – A holistic, systems, multi-level approach", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 11, pp. 26-39. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1122022 [Accessed 12 March 2024].

Tato, B., Vallejo, J. L. and García-Setién, D. (2006), *Ecosistema urbano*, Monoespacios, vol. 8, Fundación COAM, Madrid.

Thiébat, F. (2023), "I paesaggi della transizione energetica | The landscapes of energy transition", in *Techne | Journal of Architecture and Environment*, vol. 26, pp. 41-46. [Online] Available at: doi.org/10.36253/techne-14977 [Accessed 15 March 2024].

Tucci, F., Altamura, P. and Pani, M. M. (2023), "Modulare le dinamiche urbane in chiave climatica – Spazi intermedi e neutralità climatica | Modulating urban dynamics from a climate perspective – In-between spaces and climate neutrality", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 14, pp. 204-215. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/14172023 [Accessed 12 March 2024].

UN – General Assembly (2015), *Transforming our World – The 2030 Agenda for Sustainable Development*, document A/RES/70/1. [Online] Available at: sdgs.un.org/2030agenda [Accessed 15 March 2024].

UNECE – United Nations Economic Commission for Europe (2022), *Carbon Neutrality in the UNECE Region – Technology Interplay under the Carbon Neutrality Concept*. [Online] Available at: unece.org/sites/default/files/2022-09/Technology%20Interplay_final_2.pdf [Accessed 26 April 2024].

ARTICLE INFO

Received	18 March 2024
Revised	15 April 2024
Accepted	22 April 2024
Published	30 June 2024

SPAZI PUBBLICI DELLA TRANSIZIONE ENERGETICA

Un progetto a Nepi per il New European Bauhaus

PUBLIC SPACES OF THE ENERGY TRANSITION

A design in Nepi for the New European Bauhaus

Luca Montuori, Stefano Converso, Marta Rabazo Martín

ABSTRACT

L'articolo presenta una riflessione sul contributo dell'unità di ricerca del Dipartimento di Architettura di Roma Tre al progetto EHHUR selezionato all'interno del programma New European Bauhaus (NEB). Può il progetto contribuire alla costruzione di una nuova consapevolezza sui temi della transizione? Ha senso immaginare dispositivi in grado di costruire spazi che agiscano come interfacce abilitanti di comportamenti virtuosi? A partire da queste domande il lavoro si è sviluppato con l'elaborazione di una metodologia di supporto ad Amministrazioni e comunità locali di sette città europee per lo sviluppo di interventi in spazi ed edifici pubblici rispondenti ai principi NEB. Il percorso svolto si interroga sul ruolo del progetto di architettura nel passaggio da una fase modellistica a una di applicazione dei principi insediativi in spazi e contesti specifici.

The paper presents a reflection on the contribution provided by the Research Unit of Roma Tre University Department of Architecture to the EHHUR project, selected within the New European Bauhaus (NEB) program. Can design contribute to the construction of a new awareness on the topics of energy transition? Does it make sense to imagine new devices able to build spaces acting as enabling interfaces of virtuous behaviours? Moving from these questions the work has developed a methodology to support Municipalities and local communities in seven European cities to develop interventions in public spaces and buildings according to the three NEB principles of beautiful, sustainable, together. The experience challenges the role of architectural design in transitioning from a phase of abstract modeling of standardised solutions to applying the principles identified into tangible spaces and concrete contexts.

KEYWORDS

modello, progetto, spazio pubblico, comunità, energia

model, design, public space, community, energy

Luca Montuori, Architect and PhD, is an Associate Professor in Architectural and Urban Composition at the Department of Architecture, 'Roma Tre' University (Italy). Between 2017 and 2021, he was a Councillor for Urban Planning of Roma Capitale, and currently, he is a Component of Research Units PRIN – TransHeatActions and Horizon – EHHUR, investigating the interscalar dimension of the project between city, public space and landscape. Mob. +39 329/637.17.95 | E-mail: luca.montuori@uniroma3.it

Stefano Converso, Architect and PhD, is a Researcher in Architectural and Urban Composition at the Department of Architecture, 'Roma Tre' University (Italy), and the Head of the Models and Prototypes Laboratory, where he has launched research on the prototyping of open-source components for public spaces. He is the EHHUR Research Coordinator for 'Roma Tre' University. Mob. +39 339/225.12.13 | E-mail: stefano.converso@uniroma3.it

Marta Rabazo Martín, Architect, Landscape Architect and PhD, is a Research Fellow for the EHHUR project at the Department of Architecture, 'Roma Tre' University (Italy). Since 2015, she has coordinated the Open Master Architecture and Landscape Representation, and since 2023, she has been a Member of the Scientific Committee of the two-year Master level II Arpa – Architecture and Representation of Landscape and Environment 'Roma Tre' University while since 2008 she has been collaborating with the Balmori Associates studio in New York. Mob. +39 388/841.95.16 | E-mail: marta.rabazomartin@uniroma3.it



Il 16 Marzo del 2024 i titoli di apertura dei quotidiani hanno riportato la notizia che la temperatura percepita a Rio de Janeiro è di oltre 62 °C. L'emergenza ambientale è da tempo uscita dall'ambito esclusivamente scientifico per entrare definitivamente nel dibattito quotidiano, rendendo evidente la necessità di rimettere in discussione ogni separazione tra artificiale e naturale, tra costruito e spazi da preservare (Lecardane, 2023), coppie dicotomiche in realtà in perfetta simbiosi. Storicamente la cultura occidentale ha definito la natura come altro da sé, portando il Pianeta a una delicata situazione di 'transference irreversibility' (Pearce, 1983). L'espressione 'transizione ecologica', connessa al principio di irreversibilità, fa la sua prima apparizione nel Rapporto Meadows del 1972 in cui emerge la necessità di una 'transizione da un modello di crescita lineare a uno di equilibrio globale' evidenziando i rischi ecologici indotti da una crescita economica e demografica 'senza limiti' (Meadows et alii, 1972; Perchinunno et alii, 2023).

Da diversi anni ci interroghiamo sulle relazioni potenziali che legano lo studio degli effetti della transizione ecologica alla progettazione (intesa in senso più ampio) e su quali siano i limiti dei modelli interpretativi utili a immaginare nuove strategie di modificazione del territorio. Per affrontare la questione appare necessaria una duplice traslazione dell'approccio al tema: la prima che superi l'idea del 'modello' di crisi (che immagini il semplice superamento di una fase di diminuzione delle risorse all'interno di rapporti consolidati) per entrare nel campo delle 'potenzialità' della transizione guardando alla continua trasformazione e adattamento dei processi di crescita; la seconda che affronti la ridefinizione delle modalità di interazione delle discipline che collaborano alla costruzione materiale e immateriale della nostra società, in una ricomposizione delle relazioni tra scienza e umanesimo capace di superare la radicale opposizione tra natura e cultura, all'interno di una dimensione ecologica.

L'obiettivo è quindi una ricomposizione delle relazioni che favorisca l'interconnessione di persone, animali, piante e mondo geofisico, nonché l'intreccio di ecosistemi, storie, tecnologie, istituzioni e culture (Chakrabarty, 2009; Kingsland, 2005); mentre la prospettiva ambientale, infatti, si concentra principalmente sulla natura non umana, il pensiero ecologico lega esseri umani, non umani e sistemi planetari (Nash, 2006; Puig de la Bellacasa, 2017), introducendo il più grande cambiamento di paradigma nelle scienze sociali degli ultimi cinquanta anni, secondo Latour (2017, 2018) e inquadrando le società come una parte di mondi multiculturali e multi-naturali interconnessi (Rozzi et alii, 2015; Hamilton, Gemenne and Bonneuil, 2015; Krebs, 2016).

Ecco allora che la transizione o le transizioni ecologiche translocali spingono a coniugare la politica di azione per il clima e la giustizia ambientale con un ecologismo quotidiano della tecnoscienza sperimentale guidata dalle comunità (Ghelfi and Papadopoulos, 2022). Se è evidente quanto nelle grandi città il tema del cambiamento climatico sia centrale, il presente contributo indaga le possibilità di un approccio al problema a partire dai piccoli centri o da realtà marginali, guardando a progetti che favoriscano una nuova sinergia tra Amministrazioni, costruzione dello spazio pubblico e

infrastrutturazione energetica sostenibile, verso uno sviluppo territoriale più equilibrato. Per farlo si rivolge al programma New European Bauhaus (NEB; European Union, 2023).

La scala degli interventi inseriti nei primi cinque progetti di ricerca NEB finanziati, infatti, non è quella delle grandi trasformazioni urbane, ma guarda significativamente alle potenzialità di insediamenti piccoli e medi, definite città 'faro' (Lighthouses, LHs), o a quelle di territori interni in cui proporre nuove relazioni di scala, più difficili da leggere, ma non per questo meno efficaci. Si tratta di interventi che incidono tanto sullo spazio fisico quanto sui comportamenti, come quelli premiati dai NEB Awards (Figg. 1-4) che nelle LHs riguardano singoli edifici per servizi pubblici di scala locale e piccoli comparti urbani, proponendosi di contribuire alla diffusione di una cultura della transizione (Dessain et alii, 2015) e operando principalmente nella trasformazione dello spazio pubblico (European Union, 2022).

Il testo illustra le attività condotte da un'unità operativa composta da ricercatori e docenti del Dipartimento di Architettura di 'Roma Tre', da rappresentanti del Comune di Nepi (VT) e del Biodistretto della Via Amerina e delle Forre¹ che collaborano, nel contesto NEB, al progetto di ricerca EHHUR – Eyes Hands Hearts Urban Revolution che comprende sette diverse LHs². In particolare il contributo presenta la metodologia utilizzata per la costruzione di un 'diagramma di un potenziale della situazione' (Jullien, 2008) che permetta alle LHs di confrontarsi da un lato con i progettisti, dall'altro con i bisogni espressi dai cittadini.

In una prima fase il testo descrive la costruzione di cataloghi di buone pratiche e progetti³ basati sulle natura, finalizzati all'individuazione di potenziali famiglie di interventi possibili e alla formazione di una domanda evoluta; successivamente approfondisce le modalità con cui il progetto, traducendo in spazi (e non solo in dispositivi tecnici) i temi del NEB, aumenta nei cittadini la consapevolezza delle trasformazioni innescate; infine si sofferma sul caso studio di Nepi evidenziando come ciascuna delle LHs coinvolte nel progetto EHHUR diventi essa stessa caso studio di integrazione tra politiche, infrastrutturazione energetica e spazio pubblico, supportando una circolarità costante tra sistemi, specificità locali e replicabilità.

Il tentativo di includere i principi del NEB nei processi tecnico-amministrativi di sviluppo e approvazione dei progetti delle LHs è apparso da subito come il principale tema di sfida su cui lavorare alla costruzione di percorsi metodologici condivisi, utili a supportare adeguatamente i successivi progetti architettonici. La relazione tra principi NEB e processi tecnico-amministrativi è preoccupazione corrente anche della Comunità Europea, che auspica che da interventi pilota possano derivare nuove forme di governo del territorio (European Union, 2023). In questo modo è possibile supportare la costruzione di modalità operative utili a favorire l'integrazione di diversi aspetti (scienza, innovazione, arti e culture) nelle trasformazioni territoriali secondo i principi indicati dal NEB.

Dai cataloghi ai progetti | Il lavoro del Dipartimento di Architettura con i partner di EHHUR si è sviluppato in tre fasi: la prima ha riguardato la sensibilizzazione ai principi introdotti dal NEB secon-

do il metodo del 'train the trainer': da un lato si sono proposte soluzioni, spesso inizialmente standardizzate, come potenziali elementi utili alle Amministrazioni per la costruzione della domanda da sottoporre sia ai cittadini che ai progettisti, dall'altro tali sessioni 'generaliste' sono state affiancate da sessioni dedicate a ogni LH per l'individuazione dei temi specifici di ciascun sito, restituite da mappe e dati in grado di descrivere e rendere condivisibili le caratteristiche reali e immateriali dei luoghi puntando a mettere insieme i due grandi contenitori individuati dal NEB, il 'digital' e il 'green'.

Questa seconda fase ha affrontato direttamente il tema della sincronizzazione delle strategie 'verdi' e 'blu', condensata nella 'innovability' che è una delle sfide del nostro secolo: se da un lato la Global and Sustainability Initiative (GeSI, 2021) evidenzia come la 'transizione ecologica' possa orientare eticamente le opportunità del digitale, e il report dal titolo The European Double Up (Accenture, 2021) sostenga che la 'transizione digitale' si configura come strumento in grado di avviare processi condivisi altrimenti più lenti da attivare, dall'altro lato il matrimonio tra 'verde' e 'blu' lascia intravedere problemi e contraddizioni (Floridi, 2020). Nonostante questi temi siano al centro del dibattito pubblico da diversi anni, esiste un notevole divario tra lo stato dell'arte della ricerca e la risposta politica, tra teoria e prassi (National Intelligence Council, 2021) rendendo evidente la necessità di un partenariato tra Governi, settori privati e società civile per generare un reale cambio di tendenza (Olivieri, 2022). L'approccio proposto dalla metodologia EHHUR è rivolto a un supporto evoluto alla prassi: il principio digital viene declinato come descrizione misurata e misurabile del contesto in quanto 'luogo degli impatti' mentre il principio green come set di soluzioni possibili, astratte nella forma dei cataloghi (Fig. 5).

Nella terza fase il lavoro si è concentrato sulla sintesi tra i due principi attraverso la redazione di cataloghi di 'soluzioni tipo' e buone pratiche. Gli esempi selezionati introducono riferimenti operativi utili a illustrare ad amministratori e cittadini quanto sta avvenendo in altri luoghi ed evitare che le tassonomie contenute nei cataloghi – ormai numerosissimi e disponibili open source (Bologna and Hasanaj, 2023) – diventino uno strumento per rendere omogenei spazi urbani in contesti diversi. Il gruppo ha lavorato alla gestione di un sistema combinatorio che nasce dal rapporto tra dati, loro rappresentazione (in quanto sintesi di informazioni) e la selezione di soluzioni e processi ad essi adatti (Figg. 6-10).

Si tratta in altri termini di dissipare le ambiguità tra diagrammi, processi e ruolo del progetto per supportare le Amministrazioni locali nel costruire documenti di indirizzo alla progettazione (ai sensi del codice degli appalti) che contengano i principi del NEB (Fig. 11); e ancora di promuovere un approccio volto a costruire 'presupposti agibili' dal progetto che prendono la forma di azioni specifiche, riferite ai cataloghi ed emerse dalle attività di mappatura e raccolta dati, rispondendo a bisogni e luoghi specifici, ma senza un automatismo della loro traduzione progettuale. Il rischio che si intravede ormai da tempo è che la scientificità del 'sostenibile' lasci in secondo piano il 'bello' e il 'sociale' sviluppando nuove forme di determinismo operativo e riportandoci alla separa-

zione moderna tra mondo naturale e mondo sociale (Latour, 1995).

Lo spazio pubblico come luogo di consapevolezza: il caso studio di Nepi | Il periodo post-pandemico ha messo in evidenza la necessità di un nuovo equilibrio, definito come 'nuova normalità'. L'idea stessa di 'normalità' meriterebbe di essere estesa a un'ampia fase di transizione che integra lo stress legato al clima con la sensazione di un territorio in abbandono o vittima di incuria, sottoposto a repentine trasformazioni sociali ed economiche (Ferlenga, 2023). La scelta di avviare il lavoro con le Amministrazioni locali attraverso un'attività di mappatura e spazializzazione dei dati nasce dalla volontà di evidenziare le diverse forme che caratterizzano gli spazi del quotidiano aprendoli alla speculazione narrativa: dati resi operabili, percepibili dalle persone e non chiusi, come troppo spesso accade. Utilizzare questi spazi come luoghi in cui inserire dispositivi in grado di aumentare la consapevolezza delle trasformazioni in corso appare, quindi, prioritario.

Gli interventi in corso di progettazione nelle LH modificano spazi pubblici esistenti con strutture leggere, e spesso facilmente reversibili, che introducono il tema della 'tecnica' e della sostenibilità nello spazio tentando di stimolare un nuovo immaginario urbano. In questo senso è interessante

esplorare la possibilità di costruire interfacce 'fisiche', intese come spazi e oggetti, che reificano istanze virtuali o intangibili come quelle energetiche: è possibile pensarle nell'ambito di nuova 'materialità' intesa come sensibilità contemporanea allo spazio fisico modificata da nuove possibilità o ambizioni percettive (Picon, 2020).

Spesso gli interventi di mitigazione climatica e i dispositivi tecnici di produzione dell'energia sono considerati altro rispetto ai luoghi dell'abitare; essi assumono il dato della scientificità come elemento di distanza dalla vita quotidiana accentuando una ormai superata separazione tra tecnica e cultura. In questa distanza il progetto deve costruirsi come dispositivo in grado di tradurre in spazio il significato delle trasformazioni in corso (Rahm, 2020). In quest'ottica il NEB ambisce a costruire spazi in cui la trasformazione fisica diventi parte integrante di pratiche di consapevolezza e partecipazione, agendo nello spazio pubblico attraverso l'architettura: concepita in questo modo, l'interfaccia costruisce tra cittadini e transizione energetica un medium che acquisisce un 'potere abilitante' volto alla 'consapevolezza energetica' promuovendo spazi e pratiche di condivisione che contrastino la mercificazione nella produzione e consumo di energia (Urry, 2010). Inoltre molte proposte delle LH del progetto EHHUR mirano alla costituzione di comunità energetiche, intese co-

me forme di attivazione di pratiche sociali che spostano l'attenzione dalle sole performance ai comportamenti che vengono promossi dalla comunità stessa.

È interessante dunque la potenzialità che l'idea di comunità unita al ruolo dell'interfaccia abilitante offre di investigare la formazione di una specifica estetica mirata a costruire una narrazione condivisa del territorio interessato dalla trasformazione, di cui le azioni e lo stesso linguaggio architettonico sono parte integrante attraverso tangibili trasformazioni dello spazio pubblico (Ammendola, 2019). Nelle LHs della rete EHHUR è emersa fin dai primi incontri la scelta di tradurre i valori NEB alla scala di 'micro-progetti' legati alla quotidianità delle reti sociali, attraverso cui è più facile attuare processi condivisi e aperti interpretando i bisogni espressi dalle realtà locali in configurazioni spaziali decisamente 'legate al contesto'.

L'Amministrazione di Nepi ha selezionato significativamente per il progetto due edifici pubblici che ospitano una ASL, un centro anziani e associazioni sociali. La scelta si lega al ruolo centrale che i due edifici svolgono nella comunità territoriale: l'analisi ha infatti evidenziato la posizione strategica e il possibile ruolo degli edifici in un sistema più ampio che coinvolge e collega da un lato l'area al centro storico, dall'altro il sistema del polo scolastico. La fase iniziale del lavoro si è svol-



Fig. 1, 2 | Floating University in Berlin, finalist of NEB Awards 2023, education champions strand, 'Reconnecting with nature' category: Aerial view of the detention pond; Building complex (source: floating-berlin.org).

Fig. 3 | Danube Design Lab Reuse in Bulgaria, finalist of NEB Awards 2023, education champions strand, 'Prioritising the places and people that need it the most' category (source: obshinaruse.bg).



Fig. 4 | Roofscapes in Paris, finalist of NEB Awards 2023, rising stars strand, 'Reconnecting with nature' category (source: roofscapes.studio).

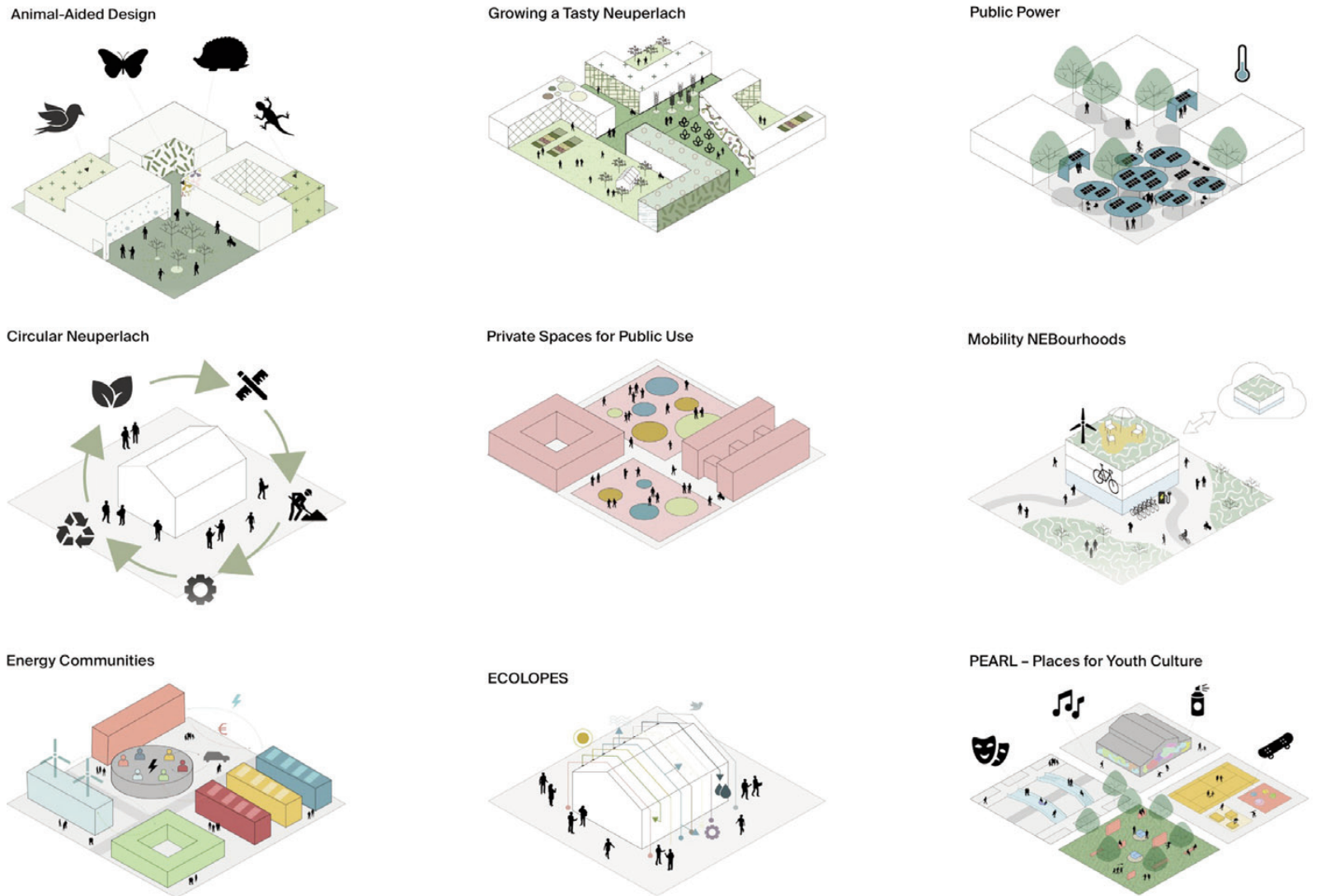


Fig. 5 | NEB Actions for test innovations targeting greater biodiversity, regenerative energy, local transit and nutrition (2023), designed by NEBourhood (credit: NEBourhood, 2024).

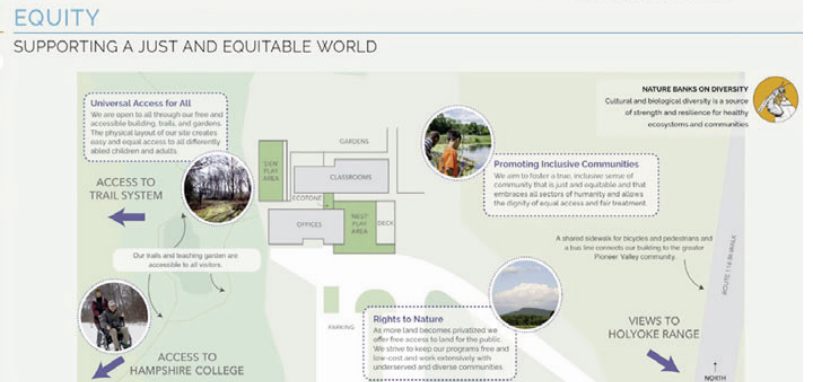
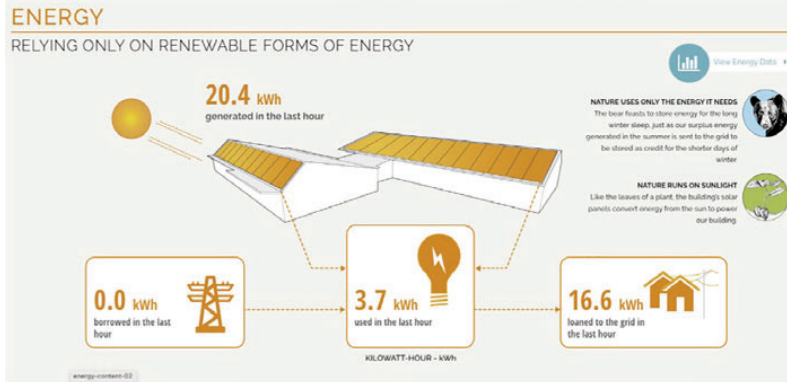
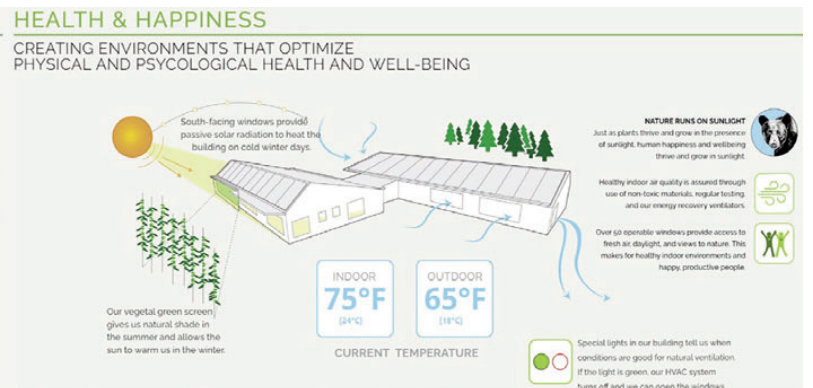
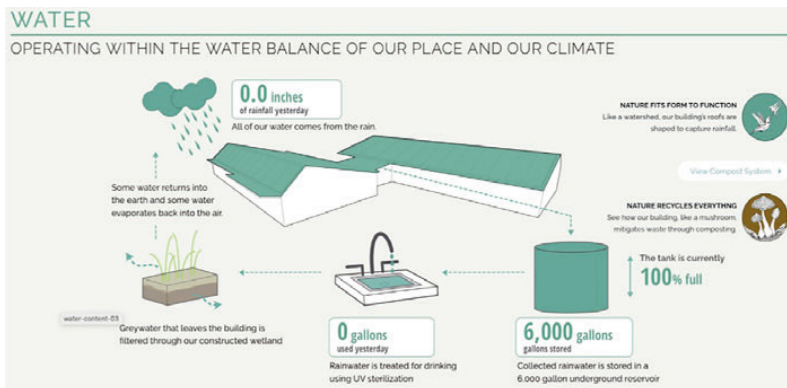


Fig. 6 | The 'Vasteda getting ready for climate risks' project is part of Amsterdam Rainproof, an initiative to transform Amsterdam into a city that uses smart solutions to make the best of heavy rainfall (2015), designed by Amsterdam Rainproof (source: weerproof.nl).

Fig. 7 | Phipps Conservatory and Botanical Garden, the first and only building to meet seven of the highest green certifications (1893-2006), designed by Lord&Burnham (source: phipps.conservatory.org, 2024).

Figgs. 8, 9 | Hitchcock Center for the Environment (2016), designed by designLAB Architects: Main building view; Building functions (source: hitchcockcenter.org, 2024).

Fig. 10 | Beirut's RiverLess forests is a project to reappropriate the riverbanks of Beirut's River, planting over 200 sqm of dense, native, fast-growing forests (2019), designed by The Other Dada (credit: theotherdada.com).

ta attraverso incontri con i tecnici del Comune e con il Biodistretto sui cataloghi delle soluzioni possibili e dei riferimenti; parallelamente si sono svolti tre workshop che hanno coinvolto la Scuola elementare, il Centro Anziani e un gruppo di studenti del Master internazionale di Il livello OPEN Architettura e Rappresentazione del Paesaggiodi 'Roma Tre' (Fig. 12). Il progetto coniuga aspetti programmatici ed elementi invariati e viene approfondito da Rimond, partner della ricerca.

Dagli incontri è emersa la necessità di riconfigurare gli spazi esterni degli edifici e di prevedere alcune funzioni di supporto al Centro Anziani come l'inserimento di aree per spettacoli all'aperto e di una lavanderia comune negli spazi esterni agli edifici. Per alimentare energeticamente il polo durante i workshop è stata approfondita la possibilità di realizzare una Comunità Energetica Rinnovabile (CER), come parte di una rete che coinvolge anche i partner del Biodistretto. Il lavoro, ancora in corso, si struttura intorno alla costruzione di un sistema di elementi per la produzione di energia che devono diventare parte dello spazio in cui le funzioni richieste si collocano: un'infrastruttura leggera, che delimita gli spazi separando le aree a parcheggio e le zone per le attività sociali, ospita le attrezzature necessarie alle funzioni richieste – lavanderia, pergole, spettacoli, ricarica mezzi elettrici (Figg. 13-16) – e ombreggia i nuovi spazi aperti anche attraverso i pannelli solari che producono l'energia necessaria alla CER; a questa i singoli abitanti potranno aderire anche posizionando piccoli impianti nelle loro proprietà. Il programma prevede anche la realizzazione di una applicazione per il controllo dei consumi dei singoli con l'obiettivo di indirizzare verso comportamenti virtuosi e limitare fenomeni di energy sprawl. Nelle aree aperte sono previsti anche dispositivi che monitorano i consumi, restituiscono dati dall'intero territorio e mettono in relazione le diverse attività connesse al progetto.

Conclusioni e sviluppi futuri | Da tempo ci interroghiamo sulle relazioni che intercorrono tra transizione ecologica e progettazione, e quali siano i limiti dei modelli interpretativi dell'attuale condizione da cui far scaturire la pratica di modifica delle condizioni di sviluppo. Il percorso di ricerca ha evidenziato come una separazione netta tra programma e progetto non sia possibile nella costruzione di operazioni come quelle ipotizzate nel contesto NEB. In particolare l'esperienza diretta di Nepi ha permesso di promuovere un percorso di collaborazione tra Amministrazioni locali, progettisti ed esperti, ma ha messo anche in evidenza l'importanza del coinvolgimento dei cittadini nei processi, nella loro comprensione e apertura per la 'spazializzazione' dei dispositivi.

Uno dei punti di criticità individuati riguarda la diversa temporalità tra innovazione legata alla transizione energetica e adeguatezza degli strumenti amministrativi con cui il progetto si deve confrontare; se infatti, l'innovazione tecnica viene spesso recepita meccanicamente, la sua traduzione negli spazi sembra ancora molto faticosa. Nel caso di Nepi, grazie al lavoro integrato del gruppo e alla presenza del Biodistretto che garantisce una continuità e una possibile sintesi di azioni diverse, il progetto viene fortemente sostenuto anche da cittadini e stakeholder.

Dal percorso fatto finora nella ricerca emerge inoltre un doppio registro del progetto: da un lato

la necessità di rispondere a precisi indicatori, definiti prevalentemente a partire da tassonomie e modelli standardizzati, collaborando con stakeholder (come per esempio il Biodistretto) e decisori politici (piccole Amministrazioni), dall'altro le modalità per radicare le soluzioni in contesti fisici (geografie, topografie, condizioni di venti e di acque) e immateriali (comportamenti, bisogni dei cittadini, dinamiche demografiche e migratorie) specifici dei luoghi in cui il progetto si sviluppa. La possibilità che i dispositivi tecnici 'abilitino' nuovi comportamenti nella relazione tra natura, uomo e ambiente risiede nella consapevolezza di chi abita lo spazio e nella possibilità di visualizzare, comprendere e condividere.

I successivi sviluppi del lavoro dovrebbero continuare a ridurre gli spazi tra modellizzazione e applicazione, guardando sia all'adeguamento dei percorsi amministrativi che sostengono la progettazione permettendo una reale sperimentazione e innovazione nella realizzazione degli interventi, sia alla individuazione di matrici complesse, non statiche, di misurazione degli impatti locali, materiali e immateriali del progetto di architettura.

On 16 March 2024, the newspaper headlines reported that the perceived temperature in Rio de Janeiro exceeded 62 °C. The environmental emergency has definitely left the scientific domain to enter the daily debate. It calls for a redefinition of the separation between natural and artificial, between built environments and spaces to preserve (Lecardane, 2023). These pairings are no longer dichotomic; they live in perfect symbiosis today. Historically, western culture has always defined nature as an external, separate domain, bringing the Planet to a delicate situation of 'transference irreversibility' (Pearce, 1983). The expression 'ecological transition', connected to the principle of irreversibility, made its first appearance in the 1972 Meadows Report: the document described the emergent necessity for the 'transition from a linear model of growth to a global balance' by highlighting the ecological risks introduced by an economic growth that appeared 'limitless' (Meadows et alii, 1972; Perchinunno et alii, 2023).

It's been many years now that the international community has discussed the potential relationships between the design activity (intended in a broad sense) and the studies on the effects of the ecological transition. This means understanding the limits of the current interpretation of reality and surpassing this vision to reach new strategies to modify our territories. The solution appears to be based on two directions in approaching the topic: the first aimed at overcoming the 'crisis model' (the one imagining a pure limitation in the use of resources without radically changing the existing relationships) to reach, instead, a more mature use of the 'potential' of the transition. This approach looks at the continuous changing and adaptation of the growth processes. A second useful approach to transition lies in redefining the mode of interaction between the disciplines that collaborate to define the material and immaterial structure of our society: a recomposition of the relationship between science and humanism, able to overcome the radical opposition between nature and culture, all within an ecological dimension.

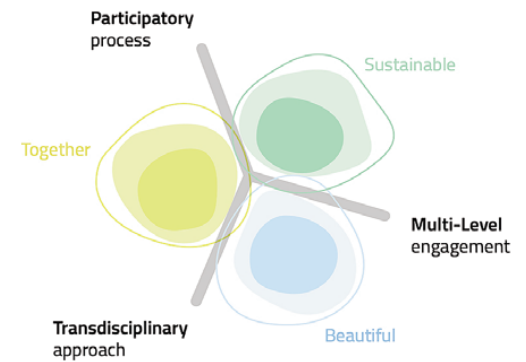


Fig. 11 | NEB Compass, values and principle (2022), designed by NEB (source: European Union, 2022).

The objective, then, becomes a recomposition of relationships that allows the interconnection between people, animals, vegetation and the geophysical world, plus the intertwining of ecosystems, stories, technologies, institutions and cultures (Chakrabarty, 2009; Kingsland, 2005); while the perspective on environment preservation, in fact, focuses mainly on the 'non-human nature', the ecological thinking tethers human beings, non-human beings and planetary systems (Nash, 2006; Puig de la Bellacasa, 2017), introducing the most significant paradigm change in the social sciences in the last fifty years, according to Latour (2017, 2018), by framing society as part of interconnected worlds that are multicultural and multi-natural (Rozzi et alii, 2015; Hamilton, Gemenne and Bonneuil, 2015; Krebs, 2016).

That is why the transition – or the transitions – ecological and trans-local push for a convergence of the policies and actions for climate with environmental equity and a daily ecologism, where communities embrace and guide the use of experimental technoscience (Ghelfi and Papadopoulos, 2022). If, on one hand, it is quite clear how much cities are at the forefront of climate change, this contribution focuses on the possibilities behind an approach to the topic starting from small cities or marginal areas, by looking at projects that could enhance a new synergy between Municipalities, construction of public space and a sustainable approach to the infrastructure of environment. In order to pursue this perspective, it looks at the New European Bauhaus program (NEB; European Union, 2023).

The scale of the interventions included in the first five NEB research projects is not, in fact, one of the significant urban transformations but is significantly looking at the potential of small and medium towns, defined as Lighthouse cities (LHs), or the features of interior areas. Both seemed ideal to propose new scale relationships, more difficult to read, if compared to major urban transformations, but still significant and efficient. These interventions work on both physical space and behaviours in a mixed and enlarged approach, well exemplified by the projects selected by the NEB Awards (Figg. 1-4). In the LHs this approach is extended to single buildings hosting public local services or to small and medium neighbourhoods, with the purpose of contributing to the diffusion of a 'culture of transition' (Dessein et alii, 2015) and operating mainly on the transformation of public space (European Union, 2022).

This paper presents the activity of a unit com-

posed by researchers and professors from 'Roma Tre' University Department of Architecture, representatives of Nepi Municipality, and from the Via Amerina e delle Forre Biodistrict¹: an association of Bio Farmers and Public Stakeholders belonging to the same territory, the Southern portion of the province of Viterbo, right north of Rome in the Lazio Region (Italy). The unit works in the context of NEB, to the project called EHHUR – Eyes Hands Hearts Urban Revolution, involving seven LHs² in the development of a methodology to allow them to merge and harmonise the needs of designers

with the issues and desires of citizens: in other words, to build what has been defined as a 'diagram for the potential of a situation' (Jullien, 2008).

In the first part, the text describes the construction of catalogues of good practices and Nature-based Solution projects³, aimed at identifying and selecting groupings of interventions but also at using them in communication to grow awareness among the public stakeholders to generate a good project brief and public demand for it. In the second part, the text deepens the ways that the design can follow to translate and express the topics

of NEB, by avoiding installing solely technical interventions – perhaps invisible – but on the contrary, work on space and use it to grow in citizens' awareness on the transformations and the changes promoted to the energy production and resource management processes. Finally, it presents the case study of Nepi by showing how applications can become benchmarks of integration between policies, public space and infrastructures, supporting a constant and circular flow of information between systems, local specificities and replicability.

From the beginning, the attempt to include the principles of NEB in the technical and administrative approval processes in the LHs appeared as the main challenge to face in developing a methodology that would be shared and useful to support further architectural projects. The relationship between NEB principles and administrative processes is also a concern for the European Community, which hopes pilot interventions could drive the growth of new forms of government for territories (European Union, 2023). Through experimentation it is possible to support the emergence of new practical benchmarks able to favour the integration of different aspects (science, innovation, arts and culture) in the territorial transformation according to NEB principles.

From catalogues to projects | The work of the Department of Architecture with the EHHUR partners was developed in three phases: the first was to raise awareness of NEB principles according to the 'train the trainer' methodology: on the one hand, proposing solutions, often standardised, to be used by the Administration with both citizens and designers as a 'NEB-ish' project brief, while on the other hand, these 'generalist' sessions have been paired by meetings with each LH to focus on the specificities of the single sites. The specific features of the local sites, both material and immaterial, have been mapped onto data and digital environments, with the aim to combine in this process the two main domains interested by NEB: the 'digital' and the 'green'.

This topic was, in particular, the main feature of the second phase of the process, aimed at the synchronisation of the 'green' and 'blue' strategies, recently condensed in the term 'innovability', whose harmonisation is one of the more significant challenges of our time: if on one hand the Global and Sustainability Initiative (GeSI, 2021) highlights how the 'ecological transition' might steer the opportunities of the digital domain towards an ethical approach, and the report The European Double Up (Accenture, 2021) configures the 'digital transition' as a potential instrument to speed up the sharing of processes which are otherwise slow to activate, on the other hand, the marriage between 'green' and 'blue' also outlines problems and contradictions (Floridi, 2020). These topics have been debated publicly for many years, but there is still a huge gap between the state-of-the-art research and the response provided by policies, between theory and praxis (National Intelligence Council, 2021). What emerges clearly is the need for a new partnership, an alliance between Governments, private sectors and civil society, to generate a real change in trend (Olivieri, 2022). According to this need, the approach proposed by the EHHUR methodology is supported at the level of praxis: the 'digital' principle is configured



Fig. 12 | Project for the Lighthouse 7 in Nepi, General Plan (2024): 1) solar tents; 2) social public laundry; 3) furnished stage for public events and continuous seating; 4) new public square with porous soil; 5) tree-based acoustic filter towards the road; 6) parking set up as rain garden and phytoremediation area; 7) urban horticulture. The project is designed by Rimond in collaboration with the Architectural Department of Roma Tre University (credit: Rimond, 2024)

as a description, measurable, of the context as 'places of impacts', while the 'green' becomes a set of potential, usable solutions, included in the abstract framework of catalogues (Fig. 5).

In the third and final phase, the work concentrated on synthesising the two principles, by preparing catalogues of 'typological solutions' and 'good practices'. The team selected practical examples as operative references useful to show to Administrators and citizens what is really happening in other areas and, most importantly, avoid that the taxonomies proposed by standardised catalogues – now available from many open sources (Bologna and Hasanaj, 2023) – could become an instrument to homogenise urban spaces in contexts that are different. The team worked on the management of a connective system that matches data and their representation as the synthesis of information, with the selection of solutions and processes tailored to them (Fig. 6-10).

This means, in other words, to dissipate the ambiguity between diagrams, processes and role of design, to support the Administrations in the practical construction of pre-feasibility studies that can embed the NEB principles (Fig. 11); its approach aimed at building 'usable assumptions' for the project, that take the shape of specific actions, referred to catalogues but emerged from the activity of local mapping. They respond to specific needs and local issues without an automatic connection to design configurations. This confronts the longstanding risk, that can still be observed, that a scientific approach to 'sustainability' puts in the background the 'beauty' and 'social' points of the NEB approach, therefore driving it towards new forms of determinism, and bringing us back to the modern- and inactual- separation between natural and social worlds (Latour, 1995).

Public space as place of awareness: the case study of Nepi | The post-pandemic period has shown the necessity of a new equilibrium, often defined as 'the new normal'. The same idea of 'normal' would need to be extended to a wider phase of transition that integrates the stress related to climate change with the feeling of disconnection from an environment that has been abandoned or subject to carelessness, to sudden and often radical social and economic transformations (Ferlenga, 2023). The choice to start the work with local Municipalities through 'mapping and data spatialisation' was conceived with the intent to reveal the different forms and processes that shape the spaces of daily life, by opening them to their narration: data that become operable, perceivable by people and not closed, or hidden as too often happens. It appears then as an absolute priority to design places with integral devices that allow people to connect and raise awareness of this transformation.

The interventions now under design in the LHs modify existing public spaces with lightweight structures, often easily reversible, that introduce the topic of 'technics' and sustainability in the physical space, by attempting to stimulate a new urban imagination. In that sense, it's interesting to explore the possibility of building 'physical' interfaces, intended as spaces and objects that translate to the material world issues that are virtual or intangible, such as energy. It is possible to conceive them within a new 'materiality' intended as



Fig. 13 | Project for the Lighthouse 7 in Nepi, planned interventions (2024), a view towards the new public social laundry embedded in a series of public pérgolas shared by photovoltaic tents (credit: Rimond, 2024).

Fig. 14 | Project for the Lighthouse 7 in Nepi, a view towards one of the entries: the series of solar PV tents covers the space between both buildings and public paths, creating a buffer area between the elderly centre and the garden (credit: Rimond, 2024).

Fig. 15 | Project for the Lighthouse 7 in Nepi: the solar tent extends to cover the existing bowls court, redefining the open spaces system (credit: Rimond, 2024).



Fig. 16 | Project for the Lighthouse 7 in Nepi: the current open space is transformed into a flexible furnished garden that hosts public events like an open cinema (credit: Rimond, 2024).

contemporary sensitivity to the physical space, as modified by new possibilities and ambitions of perception (Picon, 2020).

Often, the interventions of climatic mitigation and the technical devices of energy production are considered separate from living spaces: they assume the scientific datum as an element with distance from daily life, increasing and empowering a separation between technics and culture that appears outdated. Embedded in this distance, the design must, instead, build itself as a device that is able to translate and express the meaning of the running transformations (Rahm, 2020). From this perspective, the NEB aims to build spaces where physical transformation can become part of practices of awareness-raising and civic participation, by operating within public space through architecture. Conceived in this way, the interface builds 'enabling empowerment' between citizens and the transition, looking at 'resource awareness' by promoting spaces and practices of sharing that can counteract the commodification of energy production and consumption processes (Urry, 2010). Moreover, many proposals of the LHs in the EHHUR project look at the constitution of energy communities, intended as forms of activation of social practices that shift the attention from pure and sole performance towards the behaviours promoted by the community.

It is interesting to explore the potential of merging the idea of community with the idea of the enabling interface, to investigate a specific aesthetic aimed at a shared narration of the environment interested in a transformation, integrating a series of actions and their architectural language, manifested in the tangible transformations of public space (Ammendola, 2019). The LHs of the EHHUR network approached the environmental transformation through 'micro-projects', very much linked

to the daily practice of social relationships, through a clear path to activate shared and open processes that can translate the needs into spatial configurations strongly 'entwined' in the local context.

In the Italian LH, the Nepi Municipality significantly selected two small public buildings for the project that host social services: a local health-care unit, and elderly and social associations. The choice was made due to the important role of the services for the local community, connected to a strategic position of the area: the mapping analysis has shown the high potential connected to empowering a more comprehensive system connecting the historical centre with a school and park district. The initial phase of the work was performed through meetings with the technical offices of the Municipality and with representatives of the Biodistrict to present and discuss the range of possible solutions and references. In tandem, the team conducted three workshops involving the Elementary School, the Elderly Association and lastly a group of Students of OPEN: a Post-Doc Master in Landscape Design of 'Roma Tre' University (Fig. 12). The project incorporating all planned actions and invariants is developed and deepened by Rimond, technical partners of the research.

The meetings thus enabled the team to define the necessity of reconfiguring the exterior spaces of the buildings and enhancing some of the functions to support the activities of the Elderly Association, such as an area for public open-air events and a public laundry. The workshops also revealed the interest of the communities in powering local services through a Renewable Energy Community (REC) as part of the network that also involves the partners of the Biodistrict. The work, still ongoing, is structured around the definition of a series of components for energy production that must become part of the space where the request-

ed functions are located: a lightweight infrastructure that bounds the different spaces (parking, public event area, seating, horticulture, and so on) and hosts the requested activities (laundry, charging, shows, cinema, pop-up fairs), by providing at the same time shade and power to the REC through the PV panels pergolas (Fig. 13-16). The idea behind this process is that it could also inspire the community members to replicate the same infrastructure within their properties.

The program also features the development of a mobile application to help the members of REC monitor their consumption and contribution, in order to foster a sense of belonging and enhance positive behaviour that can limit phenomena like energy sprawl (pure repetition of production or technical devices with no connection with their territory or actors). Similar data are also shown in public displays, mirroring the community's activity and presenting it in an integrated manner.

Conclusions and future developments | For

some time now, we have been discussing the relationships between ecological transition and design, and the limits of the interpretative models of the current condition from which to derive the practice of modifying our environment. The research process has highlighted how a clear separation between program definition and design development does not allow the construction of operations such as those hypothesised in the NEB context. In particular, the experience in Nepi has promoted a collaborative development between local administrations, designers, and experts; it has also highlighted the importance of involving citizens in the processes and their understanding and openness in the 'spatialisation' of devices.

One of the identified critical points concerns the different timing between innovation linked to energy transition and the adequacy of the daily

design activity's administrative tools. In that sense, technical innovation is often routinely accepted as the 'easiest path', and its translation into space still seems challenging. In the case of Nepi, thanks to the integrated work of the group and the presence of the Biodistrict, which guarantees continuity and the actualisation of different actions, the project is strongly supported by citizens and stakeholders.

From the already-developed part of the research, the need for the design to cover two different fields has emerged: on the one hand, the need to respond to specific numerical indicators, defined mainly by standardised taxonomies and models, collaborating with stakeholders (such as the Biodistrict) and political decision-makers (small

Municipalities); on the other hand, the need for methods to root the solutions in physical contexts (such as geographies, topographies, wind and water conditions) and immaterial frameworks (such as behaviours, citizens' needs, demographic and migratory dynamics), both specific to the sites where the projects effectively develop. The possibility that technical devices 'enable' new behaviours in the relationship between nature, man, and the environment lies in the awareness of those who inhabit the space and in the possibility of visualising, understanding, and sharing processes.

The future development of the work should continue in reducing the gaps between modeling, numerical control and physical application to design, looking towards the adaptation of administrative

paths that support the design allowing for real experimentation and innovation in the interventions and identifying complex, non-static matrices for measuring the local impacts, both material and immaterial, of the architectural project.

Acknowledgements

The contribution is the result of shared reflection of the Authors, so it has to be intended as divided into equal parts.

Notes

1) The Biodistrict is an organism that federates 14 Municipalities of the province of Viterbo (in the Italian region of Lazio, Italy) and has a strong political orientation towards the development of the territory and in the mediation between citizens and institutions. It provides a framework where citizens, farmers, tertiary sector and Public Administration have subscribed protocols for the biological agriculture and a sustainable use of local resources to be pursued through actions aimed at the ecological transition, included and defined in a shared plan (SECAP) developed according to the guidelines provided by the Covenant of Mayors movement.

2) The EHHUR program involves the cities of Hoje Taastrup (Denmark), Kozani (Greece), Zoersel (Belgium), Maia (Portugal), Izmir (Turkey) and Osijek (Croatia), all of which are small and medium-sized and located in inner areas, near but also far enough from the Metropolitan areas not to be directly involved in their dynamics.

3) The research project Urban GreenUP, financed by the Horizon Europe Programme, provides an interesting example of a taxonomical catalogue of NbS. The full deliverable is available at the webpage: urbangreenup.eu/insights/deliverables/d1-1---nbs-catalogue.kl [Accessed 12 April 2024].

References

Accenture (2021), *The European Double Up Report – A twin strategy that will strengthen competitiveness*. [Online] Available at: [accenture.com/content/dam/accenture/final/a-com-migration/r3-3/pdf/pdf-144/accenture-the-european-double-up.pdf#zoom=5](https://www.accenture.com/content/dam/accenture/final/a-com-migration/r3-3/pdf/pdf-144/accenture-the-european-double-up.pdf#zoom=5) [Accessed 12 April 2024].

Ammendola, J. (2019), "Building as a Verb", in *The Journal of Public Space*, vol. 4, issue 3, pp. 7-40. [Online] Available at: doi.org/10.32891/jps.v4i3.1219 [Accessed 12 April 2024].

Bologna, R. and Hasanaj, G. (2023), "Modelli evoluti per la costruzione di un catalogo NbS per la resilienza e la biodiversità | Advanced models for the construction of an NbS catalogue for resilience and biodiversity", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 13, pp. 179-190. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/13152023 [Accessed 12 April 2024].

Chakrabarty, D. (2009), "The climate of history – Four theses", in *Critical Inquiry*, vol. 35, issue 2, pp. 197-222. [Online] Available at: doi.org/10.1086/596640 [Accessed 12 April 2024].

Dessein, J., Soini, K., Fairclough, G. and Horlings, L. (2015), *Culture in, for and as Sustainable Development – Conclusions from the COST Action IS1007 Investigating Cultural Sustainability*, University of Jyväskylä. [Online] Available at: culturalsustainability.eu/conclusions.pdf [Accessed 12 April 2024].

European Union (2023), *Report from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – The New European Bauhaus Progress Report*. [Online] Available at: new-european-bauhaus.europa.eu/about/progress-report_en [Accessed 12 April 2024].

European Union (2022), *The New European Bauhaus Compass*. [Online] Available at: new-european-bauhaus.europa.eu/get-involved/use-compass_en [Accessed 20 April 2024].

Ferlenga, A. (2023), *Architettura – La differenza italiana*, Donzelli Editore, Roma.

Floridi, L. (2020), *Pensare l'Infosfera – La filosofia come design concettuale*, Raffaele Cortina Editore, Milano.

GeSI (2019), *Digital with Purpose – Delivering a SMARTer 2030*. [Online] Available at: gesi.org/storage/files/DIGITAL%20WITH%20PURPOSE_Summary_A4-WEB_watermark.pdf [Accessed 12 April 2024].

Ghelfi, A. and Papadopoulos, D. (2022), "Ecological Transition – What It Is and How to Do It – Community Technoscience and Green Democracy", in *Tecnoscienza | Italian Journal of Science and Technology Studies*, vol. 12, issue 2, pp. 13-38. [Online] Available at: doi.org/10.6092/issn.2038-3460/17509 [Accessed 12 April 2024].

Hamilton, C., Gemenne, F. and Bonneuil, C. (2015), *Anthropocene and the Global Environmental Crisis – Rethinking modernity in a new epoch*, Routledge, London. [Online] Available at: doi.org/10.4324/9781315743424 [Accessed 12 April 2024].

Jullien, F. (2008), *L'universale e il comune – Il dialogo tra culture*, Editori Laterza, Roma/Bari.

Kingsland, S. E. (2005), *The Evolution of American Ecology – 1890-2000*, Johns Hopkins University Press, Baltimore.

Krebs, C. J. (2016), *Why Ecology Matters*, The University of Chicago Press, Chicago (IL).

Latour, B. (2018), *Down to Earth – Politics in the new climatic regime*, Polity Press, Cambridge.

Latour, B. (2017), *Facing Gaia – Eight lectures on the new climatic regime*, Polity Press, Cambridge.

Latour, B. (1995), *Non siamo mai stati moderni*, Elèuthera, Milano.

Lecardane, R. (2023), "Natura Capitale – Transizione ecologica e fenomeni di trasformazione dello spazio aperto | Nature Capital – An ecological transition and open space transformation phenomena", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 13, pp. 119-130. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/13102023 [Accessed 12 April 2024].

Meadows, D. H., Meadows, D. L., Randers, J. and Behrens III, W. W. (1972), *The limits to Growth – A report for the Club of Rome's project on the predicament of mankind*, Universe Books, New York. [Online] Available at: donelameadows.org/wp-content/userfiles/Limits-to-Growth-digital-scan-version.pdf [Accessed 12 April 2024].

National Intelligence Council (2021), *Climate Change and International Responses Increasing Challenges to US Nation Security Through 2040*, NIC-NIE-2021-10030-A. [Online] Available at: searchworks.stanford.edu/view/14043964 [Accessed 12 April 2024].

Nash, L. (2006), *Inescapable Ecologies – A history of environment, disease, and knowledge*, University of California Press.

Olivieri, F. (2022), "Progettazione simbiotica per un ecosistema urbano resiliente | Symbiotic design for a resilient urban ecosystem", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 11, pp. 40-49. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1132022 [Accessed 12 April 2024].

Pearce, D. (1983), "Ethics, Irreversibility, Future Generations and the Social Rate of Discount", in *International Journal of Environmental Studies*, vol. 21, issue 1, pp. 67-86. [Online] Available at: doi.org/10.1080/00207238308710063 [Accessed 12 April 2024].

Perchinunno, P., Massari, A., L'Abbate, S. and Mongelli, L. (2023), "Ecological transition and sustainable development – A multivariate statistical analysis to guide the policies of the national recovery and resilience plan", in *Social Indicators Research | An International and Interdisciplinary Journal for Quality-of-Life Measurement*, pp. 1-15. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s11205-023-03078-w [Accessed 12 April 2024].

Picon, A. (2020), *The Materiality of Architecture*, University of Minnesota Press, Minneapolis and London.

Puig de la Bellacasa, M. (2017), *Matters of Care – Speculative Ethics in More Than Human Worlds*, University of Minnesota Press, Minneapolis.

Rahm, P. (2020), "Climatorium. Architect as Meteorologist", in *VESPER | Rivista di Architettura, Arti e Teoria*, n. 2, pp. 24-35.

Rozzi, R. F., Chapin III, S., Baird Callicott, J., Pickett, S. T. A., Power, M. E., Armesto, J. J. and May, R. H. Jr. (eds) (2015), *Earth Stewardship – Linking Ecology and Ethics in Theory and Practice*, Springer, New York. [Online] Available at: researchgate.net/publication/305722004_Earth_Stewardship_Linking_Ecology_and_Ethics_in_Theory_and_Practice [Accessed 12 April 2024].

Urry, J. (2010), "Consuming the Planet to Excess", in *Theory, Culture & Society*, vol. 27, issue 2-3, pp. 191-212. [Online] Available at: doi.org/10.1177/0263276409355999 [Accessed 12 April 2024].

ARTICLE INFO

Received	02 April 2024
Revised	29 April 2024
Accepted	19 May 2024
Published	30 June 2024

INDICATORE SMART READINESS PER L'EDILIZIA

Asset digitali per la transizione energetica

SMART READINESS INDICATOR FOR BUILDINGS

Digital asset for energy transition

Maria Azzalin

ABSTRACT

Obiettivo prioritario del Green Deal Europeo è lo sviluppo di un mercato dell'energia pienamente integrato, interconnesso e digitalizzato, basato sull'uso di fonti rinnovabili e sul raggiungimento dell'efficienza energetica degli edifici. Condizioni attuabili grazie alle opportunità offerte dagli asset digitali, dalla digitalizzazione dei processi e dall'adozione delle tecnologie smart e di quelle emergenti. In questo scenario il contributo introduce una panoramica critica dei principi e degli aspetti metodologici che hanno istruito la definizione dello Smart Readiness Indicator (SRI) all'interno del processo di transizione energetica. Il position paper sul tema apre ad approfondimenti relativi all'analisi delle relazioni tra obiettivi dello SRI e potenzialità offerte dagli asset digitali e dagli approcci basati sul gemello digitale.

The priority objective of the European Green Deal is the development of a fully integrated, interconnected and digitised energy market based on the use of renewable sources and the achievement of energy efficiency of buildings. Digital assets, digitalisation of processes and the adoption of smart and emerging technologies support the achievement of these conditions. In this scenario, the contribution introduces a critical overview of the principles and methodological aspects that have taught the definition of the Smart Readiness Indicator (SRI) within the energy transition process. The position paper opens to insights into the relationship between SRI objectives and the potential offered by digital assets and approaches based on the digital twin.

KEYWORDS

efficienza energetica, valutazione delle prestazioni degli edifici, decarbonizzazione, edifici intelligenti, gemello digitale

energy efficiency, building performance assessment, decarbonisation, smart buildings, digital twin



Maria Azzalin, Architect and PhD, is a Researcher in Architecture Technology at the Department of Architecture and Territory of the 'Mediterranean' University of Reggio Calabria (Italy). Research activities concern building construction with specific interests in the Maintenance and Life Cycle Assessment of buildings and components. These themes are today developed within the scenario of the green and digital transition of the construction sector concerning the application of emerging technologies and the digital twin approaches. She is a Founding Partner of BIG srl, an academic spin-off, and the Head of its Research and Development Section. Mob. + 39 338/992.35.98 | E-mail: maria.azzalin@unirc.it

La questione climatica, quella della decarbonizzazione, dell'energia e dell'efficienza energetica, nel sollecitare la concreta attuazione dei processi connessi alla transizione energetica dell'ambiente costruito, assume come elementi propulsori le opportunità che gli indirizzi e gli strumenti della più generale transizione ecologica e digitale introducono (Fokaides et alii, 2020; Ma et alii, 2023). Parimenti le politiche europee, nell'esprimere l'assoluta ineluttabilità, ne evidenziano l'urgenza ponendo l'attenzione sulla necessità di strategie e prassi operative di possibili soluzioni all'interno di altrettanto auspicabili scenari di sviluppo sostenibile (UN – General Assembly, 2015; UNEP, 2016; Hussin, Rahman and Memon, 2013; Huang et alii, 2018).

Su tali questioni il Green Deal Europeo, con le strategie per il clima e la neutralità climatica, individua obiettivi, indirizzi e azioni, ponendo l'accento sull'importanza di uno sviluppo energetico pulito e sostenibile e puntando con particolare enfasi proprio sull'efficienza energetica e sull'adozione di fonti energetiche rinnovabili (European Commission, 2019). Due aspetti, questi ultimi, ai quali anche il settore delle costruzioni riconosce da tempo assoluta centralità, accostandone loro un terzo – quello della decarbonizzazione – con il quale riguardano la definizione di catene di approvvigionamento a basse emissioni di carbonio, sempre più climaticamente neutre, riferite all'intero ciclo di vita di edifici e infrastrutture (El jaouhari et alii, 2023; Ravikumar et alii, 2024).

Il settore delle costruzioni è infatti responsabile, da solo, del 36% delle emissioni globali di CO₂ e di circa il 40% del consumo energetico complessivo; di queste grandezze, una parte significativa è imputata al patrimonio edilizio, al quale tuttavia si riconosce, al tempo stesso, un enorme potenziale in termini sia di risparmio energetico che di riduzione delle emissioni (IEA, 2017; IEA, 2020; Khan et alii, 2014). Questo potenziale è esprimibile grazie anche alle opportunità offerte in generale dagli asset digitali, dalla digitalizzazione dei processi e dall'adozione di tecnologie intelligenti in particolare (Apanavičienė and Shahrabani, 2023). Una necessità, quella della transizione energetica del settore, perseguita dunque dalle politiche europee (European Commission, 2020a) e ampiamente supportata sia dalla letteratura scientifica (Castro et alii, 2015; Silva et alii, 2023) che dalle diverse analisi condotte da Istituti di ricerca e Organizzazioni internazionali (UNEP and IEA, 2017; GABC, IEA and UNEP, 2019; Corte dei Conti Europea, 2020).

In questo scenario generale la definizione della Direttiva Europea sull'Efficienza Energetica degli Edifici 844/2018 EPBD (Energy Performance of Buildings Directive; European Parliament and Council of the European Union, 2018) rappresenta un passaggio chiave (European Parliament and Council of the European Union, 2002, 2012, 2023, 2024); altrettanto strategica appare la definizione e contestuale introduzione nella medesima EPBD dello Smart Readiness Indicator (SRI), uno strumento di valutazione e di promozione della sostenibilità e dell'efficienza degli edifici che consente di individuare i possibili ambiti di intervento migliorativo attraverso l'integrazione di processi e tecnologie digitali (European Commission, 2020b, 2020c; European Commission et alii, 2020).

Nell'assumere come riferimento il quadro sin-

teticamente tratteggiato il contributo integra la lettura degli aspetti connessi alla questione della transizione energetica con i principi e gli aspetti metodologici che hanno istruito la definizione dello SRI; attraverso la lettura critica delle potenzialità e criticità metodologiche e applicative introduce una panoramica critica sul tema, configurandosi come potenziale position paper. In particolare il paper apre a specifici approfondimenti connessi alle attività di ricerca attualmente condotte dall'autore in tema di governance innovativa del patrimonio edilizio secondo approcci 'digital twin' in uno scenario a prova di clima, assumendo come chiave di lettura originale l'interazione tra gemello digitale e decarbonizzazione.

Contesto scientifico e normativo | Il Green Deal Europeo, fin dal suo avvio nel 2019, si configura come strategia ambiziosa e globale per trasformare l'Unione Europea in un'economia neutrale dal punto di vista climatico entro il 2050. La transizione energetica è al centro di questa strategia: obiettivo prioritario è lo sviluppo di un mercato dell'energia pienamente integrato, interconnesso e digitalizzato, basato in larga misura sulle fonti rinnovabili e il raggiungimento dell'efficienza energetica attraverso il miglioramento del comportamento energetico degli edifici (European Commission, 2019), finalità quest'ultima posta al centro della Renovation Wave Strategy (European Commission, 2020d) e al tempo stesso trasversale in molteplici altri documenti comunitari (IPCC, 2018; IPCC, 2023) e nelle politiche riferite in generale a clima ed energia, anche in ambito nazionale. Questi documenti, unanimemente, pongono quale questione centrale la necessaria sinergia tra tre ambiti strategici: energia-clima-costruito introducono il primo dei tre aspetti considerati per la definizione nel contesto scientifico e normativo in cui lo SRI si colloca, ovvero la transizione energetica.

Molteplici sono gli aspetti generali che, già assunti come prioritari dall'European Green Deal, vengono ripresi ed espressi in ambiti differenti: dalla riduzione delle emissioni di gas serra – almeno il 55% entro il 2030 rispetto ai livelli del 1990 – attraverso l'adozione di fonti energetiche rinnovabili e l'efficienza energetica negli edifici e nei trasporti (GABC, IEA and UNEP, 2019) fino alla promozione delle energie rinnovabili – con l'obiettivo di aumentare la quota di energie rinnovabili al 32% del consumo energetico totale entro il 2030 – favorendo la transizione verso un approvvigionamento energetico completamente sostenibile e pulito (EPRS, 2020); e ancora la disponibilità di incentivi finanziari e di investimenti attraverso strumenti economici chiave come il Fondo per una Transizione Giusta e il Next Generation EU, finalizzati a sostenere la transizione verso un'economia a basse emissioni di carbonio, promuovendo la crescita economica sostenibile e prevedendo ingenti investimenti nell'energia pulita e nelle tecnologie a basso impatto ambientale (European Commission, 2020a).

A questi si aggiunge il sostegno a innovazione e ricerca finalizzato a promuovere lo sviluppo di tecnologie avanzate e soluzioni sostenibili nel settore dell'energia pulita attraverso i fondi finanziari e infrastrutturali di Programmi come Horizon Europe¹ (Moseley, 2017) e l'European Innovation Council², oppure la definizione di efficaci riforme

normative volte a favorire la transizione verso un'economia circolare e a basse emissioni di carbonio (Ravikumar et alii, 2024), tutte misure che, in parte mutate da quelle di ordine più generale sopra richiamate, esprimono direttamente la relazione tra transizione energetica e patrimonio edilizio, anch'essa espressa e supportata da studi e report puntuali (UNEP and IEA, 2017; IPCC, 2018, 2023; IEA, 2020).

Emergono da questi documenti, e dalla letteratura scientifica sul tema, alcune considerazioni chiave di ordine generale che, nel perimetrare specifici ambiti di azione riferiti al settore delle costruzioni, non solo confermano la già richiamata sinergia tra clima-energia-costruito, ma anche le potenzialità e il contributo che il patrimonio edilizio può offrire sia in termini di riduzione del consumo di energia che di emissioni di CO₂; nello specifico:

– Strategie e Politiche pubbliche che, orientate, possono svolgere un ruolo fondamentale nel promuovere la transizione verso l'efficienza edilizia attraverso normative, incentivi finanziari, standard di prestazione energetica e Programmi di sensibilizzazione (European Parliament and Council of the European Union, 2012; De Fátima Castro, 2020; Mlecnik et alii, 2020);

– Impatto Ambientale degli Edifici, in quanto il patrimonio edilizio rappresenta una parte significativa del consumo energetico globale (circa il 28%) ed è responsabile di circa il 17% delle emissioni globali di CO₂ (IEA, 2017; Khan et alii, 2014; Huang et alii, 2018);

– Efficienza Energetica degli Edifici che rappresenta un enorme potenziale di risparmio energetico; si stima che l'implementazione di tecnologie edilizie di efficientamento energetico potrebbe ridurre il consumo energetico globale degli edifici del 50% entro il 2050 (IEA, 2020; Fokaides et alii, 2020);

– Approccio Sistemico per una mutua combinazione di tecnologie avanzate e gestione integrata in grado di ottimizzare l'efficienza energetica e l'uso delle risorse adattandosi al tempo stesso alle esigenze degli occupanti e alle condizioni ambientali degli edifici (UNEP, 2016; European Commission, 2020d; Benavente-Peces, 2019);

– Qualità e Benessere Indoor, in quanto gli interventi di efficientamento energetico degli edifici da un lato contribuiscono alla riduzione dell'inquinamento atmosferico, dall'altro possono influire sul miglioramento della qualità dell'aria interna, con benefici diretti sulla salute umana (UNEP, 2016; WHO and IPCS, 2021);

– Resilienza Climatica, espressa intrinsecamente dagli edifici che, energeticamente efficienti, riducono la dipendenza dalle fonti energetiche fossili mitigando gli effetti del cambiamento climatico (IEA, 2020; Dale et alii, 2023);

– Risparmio Economico a lungo termine prodotto, secondo alcuni studi condotti dall'Unione Europea, da investimenti nell'efficienza energetica degli edifici (Corte dei Conti Europea, 2020; Banfi et alii, 2022).

Ulteriori ambiti di natura più operativa assumono l'innovazione tecnologica come elemento centrale per la gestione degli edifici (Sovacool and Furszyfer Del Rio, 2020):

– Adozione di Tecnologie Avanzate quali l'uso e l'implementazione di sistemi di riscaldamento e raffreddamento ad alta efficienza, l'isolamento termico migliorato, le finestre ad alto rendimento ener-

getico e l'integrazione dei sistemi intelligenti per la gestione dell'energia e il monitoraggio – quali sensori, controlli automatizzati, dispositivi di domotica e Internet of Things (IoT) – che, secondo l'Agenzia Internazionale dell'Energia, potrebbero far diminuire significativamente il consumo di energia e ridurre le emissioni di CO₂ del settore edilizio di oltre un terzo entro il 2030 e di oltre il 40% entro il 2050 (IEA, 2020; Yan, Zhou and Yang, 2023);

– Utilizzo di Fonti Energetiche Rinnovabili, quali sistemi fotovoltaici, solare termico e pompe di calore, che possono ridurre la dipendenza dalle fonti energetiche fossili e contribuire a una significativa riduzione delle emissioni di CO₂; l'elettrificazione degli edifici con fonti rinnovabili può contribuire a ridurre le emissioni di CO₂ nel settore edilizio fino al 95% entro il 2050 (IEA, 2020; Arteconi, Mugnini and Polonara, 2019);

– Uso di Materiali da costruzione a Basso Impatto Ambientale, alcuni dei quali (materiali riciclati, legno proveniente da foreste gestite in modo sostenibile e materiali a basse emissioni di carbonio) secondo un'analisi condotta dalla Global Alliance for Buildings and Construction potrebbero ridurre le emissioni globali di CO₂ associate alla produzione e alla costruzione degli edifici del 10% entro il 2050 (GABC, IEA and UNEP, 2019).

Questa evidente relazione tra transizione energetica e patrimonio costruito, nel coinvolgere risparmio energetico e riduzione delle emissioni, si pone in modo trasversale rispetto ai temi dell'innovazione tecnologica e della gestione smart del ciclo di vita degli edifici, delineando scenari in cui gli edifici divengono smart buildings, nodi all'interno di smart city e smart grid; essi sono in grado di integrare tecnologie avanzate e soluzioni digitali per migliorare l'efficienza energetica, la sostenibilità e le prestazioni globali (Energy & Strategy Group, 2021; Apanavičienė, Vanagas and Fokaides, 2020; Yitmen et alii, 2021).

Si configura in tal modo il secondo aspetto da considerare nella definizione del contesto scientifico e normativo di riferimento, dopo quello della transizione energetica: il tema degli asset digitali e del ruolo delle tecnologie emergenti (Fig. 1).

L'intelligenza artificiale (AI), l'Internet delle cose (IoT), la Realtà Aumentata (AR), la Realtà Virtuale (VR) la blockchain e la stampa 3D sono solo alcune delle tecnologie emergenti che stanno rivoluzionando modalità e processi di trasformazione e gestione del patrimonio costruito; esse offrono soluzioni innovative per la raccolta e l'analisi dei dati, nuove opportunità per ottimizzare l'efficienza energetica, migliorare la sicurezza e la qualità degli edifici, nonché per semplificare i processi decisionali e la gestione delle risorse, individuando specifici ambiti di operatività:

– il monitoraggio e manutenzione predittiva; l'uso di sensori IoT consente la raccolta di dati e il monitoraggio in tempo reale delle prestazioni e condizioni d'uso degli edifici e dei sistemi (Hassebo and Tealab, 2023);

– le decisioni basate sui dati; l'intelligenza artificiale può essere impiegata per analizzare grandi dataset e identificare pattern, modelli e tendenze, supportando decisioni informate (Dell'Isola et alii, 2019);

– il coinvolgimento degli utenti; AR e VR possono essere utilizzate per coinvolgere gli utenti, migliorando la partecipazione pubblica e la comprensione delle decisioni di gestione (Böhm et alii, 2021);

– una maggiore trasparenza e sicurezza; la blockchain può essere impiegata per garantire la trasparenza e l'integrità dei dati, nonché la loro sicurezza e governance (Rodrigo et alii, 2020).

Molteplici altresì sono i contributi che nel fornire una panoramica specifica riferita al settore edilizio evidenziano in particolare i potenziali impatti di tali tecnologie sull'efficienza energetica e sulla sostenibilità (Xu et alii, 2023), sulla governance collaborativa dei sistemi energetici degli edifici, offrendo un'analisi dettagliata riferita alle opportunità e alle sfide (Zhao et alii, 2023) sulla gestione energetica degli edifici, con focus sulle applicazioni pratiche (Bortolini et alii, 2021).

In questo scenario si inserisce il terzo e ultimo aspetto considerato per la definizione del contesto scientifico e normativo di riferimento dello Smart Readiness Indicator: la EPBD (European Parliament and Council of the European Union, 2018). La Direttiva fin dalla sua prima versione aveva già posto l'accento sull'importanza generale di trasformare il settore delle costruzioni in un'industria più sostenibile, efficiente e resiliente, promuovendo un diverso approccio all'efficienza energetica degli edifici attraverso l'introduzione del concetto di gestione 'intelligente' e di una serie di misure per il miglioramento delle prestazioni energetiche degli edifici in un'ottica di smart building. L'attuale (nuova) versione ha confermato e rafforzato gli aspetti precedenti, riaffermando che proprio gli edifici intelligenti svolgeranno un ruolo cruciale nei futuri sistemi energetici e nei processi di decarbonizzazione e riduzione delle emissioni di gas a effetto serra entro il 2050 (European Parliament and Council of the European Union, 2002, 2012, 2023, 2024).

Il testo ribadisce l'importanza delle funzionalità non solo connesse ai requisiti di prestazione energetica – da nZEB a ZEB – ma anche alla capacità dell'edificio di interagire attivamente con gli operatori, gli utenti finali e le reti energetiche, impiantistiche e di gestione, con l'obiettivo di aumentare la consapevolezza sui benefici delle tecnologie intelligenti negli edifici e incentivare l'integrazione (Zangheri and Castellazzi, 2016; Dell'Isola et alii, 2019; Benavente-Peces, 2019).

La Direttiva introduce inoltre come aspetto chiave lo Smart Readiness Indicator (SRI) per valutare la predisposizione tecnologica degli edifici, l'interazione con gli occupanti e le reti energetiche; introdotto dalla prima versione della EPBD, esso si configura quale strumento standardizzato per valutare e promuovere costruzioni intelligenti (European Commission, 2020b, 2020c; European Commission et alii, 2020; European Parliament and Council of the European Union, 2018). Appaiono espliciti due indirizzi tra loro complementari: da un lato la EPBD mira a promuovere l'efficienza energetica degli edifici attraverso una serie di misure, tra cui il miglioramento della loro prestazione energetica e la promozione dell'uso di tecnologie intelligenti, dall'altro lo SRI introduce un metodo standardizzato per orientare e promuovere l'uso di tali tecnologie la cui adozione generalizzata potrebbe portare a risparmi energetici significativi entro il 2030. Insieme assumono un ruolo di supporto al raggiungimento degli obiettivi di efficienza energetica fissati dalla UE, di riduzione delle emissioni di gas serra e di miglioramento della sostenibilità ambientale (Fokaides, Panteli and Panayidou, 2019).

Smart Readiness Indicator: principi, aspetti me-

todologici, applicazioni | L'introduzione dello SRI attraverso la Direttiva EPBD 2018/844 rappresenta, dunque, un passaggio fondamentale (European Parliament and Council of the European Union, 2018; European Commission et alii, 2020). Il background appena delineato fornisce e ne evidenzia gli elementi chiave: promozione e adozione di soluzioni avanzate e tecnologie intelligenti; riduzione dell'impatto ambientale degli edifici e delle emissioni di gas serra; raggiungimento degli obiettivi di efficienza energetica; miglioramento della qualità della vita degli occupanti; accelerazione dei processi di innovazione digitale del settore (Fig. 2).

Punto di partenza è la definizione di 'smartness' – introdotta dalla Commissione Europea di Normazione (CEN), attraverso i lavori del Comitato Tecnico CEN/TC247³ (UNI EN 15232-1:2017; UNI EN ISO 52120-1:2022) – come la capacità di un edificio di integrare tecnologie avanzate e soluzioni digitali per migliorare le sue prestazioni in termini di efficienza energetica, comfort degli occupanti e interazione con l'ambiente esterno e di facilitare la transizione verso edifici intelligenti e sostenibili (Al Dakheel et alii, 2020).

Parallelamente al lavoro di normazione condotto dal CEN/TC247 e in linea con il metodo proposto per la classificazione della smartness dei sistemi di automazione e controllo degli edifici (BACS; UNI EN 15232-1:2017; UNI EN ISO 52120-1:2022), la Commissione Europea, in coerenza con la nuova versione della EPBD, ha avviato un articolato piano di definizione e testing per supportare lo sviluppo dello SRI attraverso due studi tecnici supportati da una fase di applicazione sperimentale, la cui chiusura è prevista per la fine del 2024 (Plienaitis et alii, 2023; European Commission, 2020b, 2020c; European Commission et alii, 2020).

Il primo studio condotto da un consorzio composto da VITO, Waide Strategic Efficiency, Ecofys e OFFIS, ha posto l'attenzione sulla definizione della struttura di uno strumento di valutazione europeo armonizzato (Verbeke et alii, 2018); il secondo, condotto in continuità con il precedente, ha riguardato l'implementazione di input tecnici (European Commission et alii, 2020). I due studi hanno previsto una collaborazione attiva con gli stakeholder, attraverso consultazioni, incontri, sondaggi e raccolta di feedback. Sono stati esaminati i documenti tecnici, i risultati dei test beta e le valutazioni degli impatti dell'implementazione dello SRI (Fig. 3). In questo scenario lo SRI si configura dunque come Key Performance Indicator (KPI).

I principi che ne istruiscono e configurano l'impalcato metodologico e operativo fanno riferimento a tre ambiti: 'criteri di funzionalità chiave', 'criteri di impatto' e 'ambiti tecnici'; declinati rispettivamente in tre criteri principali il primo, in sette criteri d'impatto il secondo e in nove ambiti tecnici il terzo, insieme esprimono le diverse dimensioni della prontezza intelligente di un edificio. In particolare: – criteri di funzionalità chiave; efficienza energetica e funzionamento, risposta alle esigenze degli occupanti e flessibilità energetica esprimono la capacità dell'edificio di regolare autonomamente il proprio consumo energetico in modo efficiente (utilizzando anche fonti rinnovabili), di adattarsi alle esigenze degli utenti e partecipare alla gestione della domanda energetica, ad esempio attraverso la possibilità di immagazzinare energia; – criteri d'impatto; efficienza energetica, manuten-

zione e previsione dei guasti, comfort, comodità, salute, benessere e accessibilità, informazioni agli occupanti e flessibilità energetica e stoccaggio dell'energia valutano gli effetti diretti e indiretti delle tecnologie smart sull'edificio e sugli utenti (Fig. 4);

- ambiti tecnici; riscaldamento, raffrescamento, acqua calda per uso domestico, ventilazione, illuminazione, involucro edilizio dinamico, energia elettrica, ricarica dei veicoli elettrici e monitoraggio e controllo rappresentano le diverse aree in cui le tecnologie smart possono essere implementate per migliorare la prestazione degli edifici (Fig. 5).

Inoltre lo SRI si caratterizza per:

- la metodologia di calcolo, che introduce l'esame dei cosiddetti 'servizi smart ready' presenti e/o previsti nell'edificio; tali servizi sono definiti in modo neutrale rispetto alla tecnologia specifica e sono valutati su una scala che riflette il loro livello di 'intelligenza' e gli impatti previsti sugli utenti e sulla rete energetica, ciò attraverso due cataloghi di servizi (un metodo dettagliato e un metodo semplificato), ciascuno dei quali elenca sia i servizi pertinenti che la descrizione degli impatti attesi (Figg. 6, 7);
- i punteggi di smart readiness, che consentono di valutare i servizi in base a livelli di funzionalità che riflettono l'implementazione intelligente delle tecnologie; per ogni servizio smart vengono definiti diversi livelli di funzionalità e attribuiti punteggi di impatto che, a loro volta, sono assegnati a ciascun livello di funzionalità e aggregati per calcolare il punteggio di smart readiness dell'edificio espresso in termini di percentuale;
- gli aggiornamenti e il monitoraggio, che rappresentano infine uno step fondamentale per verificare applicabilità ed efficacia dello SRI.

La fase di applicazione sperimentale ha coinvolto, su base volontaria, alcuni Stati membri (Austria, Croazia, Repubblica Ceca, Danimarca, Finlandia e Francia) che si sono impegnati nell'applicazione del processo di valutazione a edifici residenziali e commerciali campione, nel monitoraggio delle fasi di applicazione e dei relativi feedback e nella loro trasmissione alla Commissione Europea⁴. Non sono state redatte specifiche linee guida per l'applicazione dello SRI (European Commission, 2020c) e ciò ha consentito ai singoli Stati di implementarne l'applicazione rispetto ai propri contesti specifici (Plienaitis et alii, 2023; Janhunen et alii, 2019; Tab. 1).

L'Italia, pur non aderendo all'iniziativa europea, ha condotto anche attraverso l'Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile (ENEA) diverse sperimentazioni: dalla valutazione 'smartness' del costruito esistente, per valutarne il potenziale di miglioramento, all'applicazione della metodologia di calcolo dello SRI a diverse categorie di edifici con differenti livelli di automatismo e di intelligenza impiantistica (Vigna et alii, 2020; Canale et alii, 2021).

I test beta della sperimentazione europea hanno confermato la fattibilità dell'approccio proposto e hanno portato a ulteriori perfezionamenti metodologici; le valutazioni degli impatti hanno evidenziato significativi benefici netti derivanti dall'implementazione dello SRI in tutta l'Unione Europea, la cui adozione generalizzata potrebbe portare a risparmi energetici fino al 10% nei settori residenziale e commerciale entro il 2030 (Plienaitis et alii, 2023; Tab. 2, 3). Ulteriori applicazioni riguardano la possibile integrazione dello SRI direttamente nei sistemi di certificazione energetica nazionali

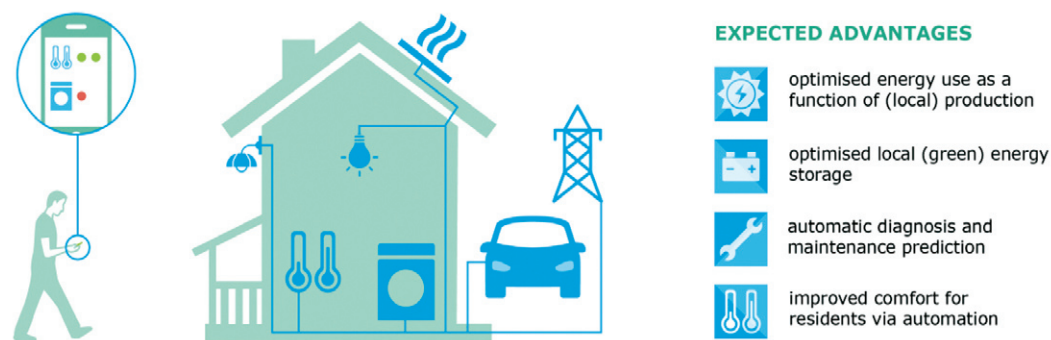


Fig. 1 | Expected advantages of smart technologies in buildings (source: European Commission et alii, 2020).



Fig. 2 | Three key functionalities of smart readiness in buildings (source: European Commission et alii, 2020).

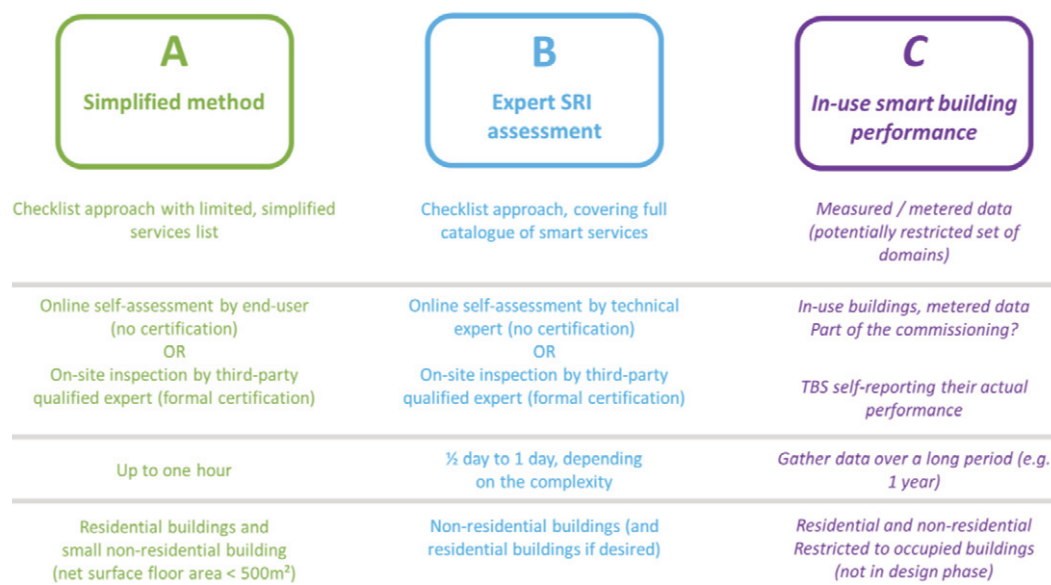


Fig. 3 | Three potential assessment methods (source: European Commission et alii, 2020).

La fase di sperimentazione del SRI, la cui conclusione è prevista entro la fine del 2024, la sua implementazione normativa con la nuova versione delle EPBD e la letteratura scientifica sul tema consentono già di evidenziare potenzialità e criticità connesse alla sua applicabilità metodologica: di entrambe si riporta una prima sintesi che apre a possibili scenari di approfondimenti futuri. Tra le principali potenzialità:

- la valutazione integrata delle prestazioni energetiche; lo SRI offre un metodo standardizzato per valutare non solo l'efficienza energetica, ma anche la capacità degli edifici di adottare tecnologie intelligenti per ottimizzare l'uso dell'energia e migliorare il comfort degli occupanti, svolgendo, inoltre, un ruolo chiave nella promozione della pianificazione urbana sostenibile (Chatzikonstantinidis et alii, 2024; Fig. 8);
- l'ottimizzazione del comportamento energetico; gli indicatori forniti dallo SRI possono aiutare proprietari e operatori a identificare le aree di intervento prioritario e a pianificare opportune strategie

consentendo interventi mirati a migliorare l'efficienza energetica e ridurre i consumi (Fokaides, Panteli and Panayidou, 2019);

- la promozione dell'innovazione tecnologica; lo SRI può agire da acceleratore per l'adozione di tecnologie intelligenti negli edifici, promuovendo l'innovazione nel settore delle costruzioni e dell'energia; di particolare rilievo in questa direzione è l'integrazione di Digital Twin e Building Information Modeling (BIM) per la simulazione delle prestazioni degli edifici, evidenziando come questa sinergia possa influenzare positivamente l'efficienza energetica e il comfort degli occupanti (Nguyen and Adhikari, 2022).

Parallelamente tra le principali criticità si segnalano:

- la complessità di implementazione; l'implementazione dello SRI è complessa sia per la varietà di tecnologie e sistemi da considerare nella valutazione sia per la necessità di standardizzare i metodi di misurazione e valutazione; quest'ultimo aspetto insieme alla definizione di criteri e parametri

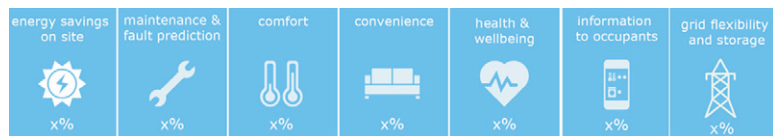


Fig. 4 | Smart Service impact criteria (source: European Commission et alii, 2020).

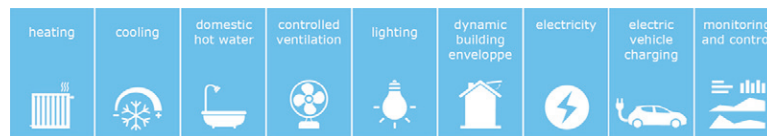


Fig. 5 | Domains structuring the SRI catalogue (source: European Commission et alii, 2020).

coerenti e affidabili rappresenta la sfida per garantire una valutazione accurata e comparabile degli edifici (Pan et alii, 2023).

– i costi e le risorse necessarie; valutare lo SRI richiede risorse finanziarie e umane connesse sia alla formazione che ad aspetti tecnici e strumentali, relativi sia all’acquisizione e installazione di dispositivi di monitoraggio e controllo che per la successiva analisi e interpretazione dei dati raccolti; tali costi possono rappresentare un ostacolo per la diffusione e l’adozione dello SRI (Plienaitis et alii, 2023).

– l’interpretazione dei risultati; interpretare correttamente i risultati ottenuti tramite lo SRI non è semplice; trattandosi di dati complessi è importante fornire linee guida chiare e supporto tecnico a garanzia non solo di una corretta interpretazione degli indicatori, ma anche per la successiva definizione di strategie di miglioramento (Piras, Agostinelli and Muzi, 2024).

Da questa sintesi emergono chiare le sfide relative alla standardizzazione, alla valutazione e alla comunicazione dei risultati dello SRI, nonché quelle relative alla sua integrazione nei regolamenti edilizi e nelle politiche energetiche. Altrettanto evidenti sono anche le sfide connesse all’implementazione dello SRI con gli asset digitali e le relative tecnologie abilitanti (tra cui BIM, IoT e approcci basati sul modello digitale) che, nel consentire un monitoraggio costante del comportamento degli edifici in termini di consumi e comfort e una gestione più intelligente del ciclo di vita delle costruzioni, migliorano contemporaneamente l’efficacia stessa dell’applicazione dello SRI (Cespedes Cubides and Jradi, 2024).

Conclusioni e prospettive future | Lo Smart Readiness Indicator rappresenta uno step importante per la promozione della sostenibilità degli edifici e la transizione verso un’economia a basse emissioni di carbonio. Tuttavia dall’analisi della letteratura scientifica emerge con chiarezza la necessità di ulteriori ricerche per affrontare le sfide e massimizzarne il potenziale nell’ambito della transizione energetica nel settore delle costruzioni, ciò con particolare riguardo all’integrazione con le tecnologie smart e gli approcci Digital Twin in un’ottica di decarbonizzazione e neutralità climatica del patrimonio costruito (Apanavičienė, Vanagas and Fokaides, 2020; Omrany et alii, 2023).

Le interazioni tra lo SRI, le tecnologie smart building e gli approcci Digital Twin rappresentano oggi una questione aperta e ancora poco indagata: la loro integrazione sembra esser però in grado di massimizzare i benefici in termini di sostenibilità, efficienza e comfort degli occupanti nell’ambito degli scenari richiamati (Zhao et alii, 2023; Kineber et alii, 2023).

Lo SRI valuta le caratteristiche fisiche degli edifici, i sistemi di gestione e le infrastrutture digitali presenti, fornendo un quadro complessivo del loro potenziale di adattamento alle tecnologie smart

alle quali è riconosciuta la capacità di semplificare la gestione degli edifici, ottimizzare l’efficienza energetica, ridurre i consumi attraverso sistemi di gestione energetica avanzati e controllare e monitorare le prestazioni nel ciclo di vita attraverso sistemi IoT.

Gli approcci Digital Twin, infine, riflettono in modo accurato le caratteristiche fisiche e funzionali degli edifici reali: la replica digitale integra dati provenienti da sensori, dispositivi IoT e altri sistemi di monitoraggio, consentendo di simulare il comportamento degli edifici in diverse condizioni e di ottimizzarne le prestazioni attraverso l’analisi dei dati in tempo reale (UNEP and IEA, 2017; Botin Sanabria et alii, 2021; Aliero et alii, 2022; Piras, Agostinelli and Muzi, 2024; Lauria and Azzalin, 2024).

L’integrazione di SRI e tecnologie smart building consente di identificare e implementare soluzioni per raggiungere livelli più elevati di smartness e conformità agli standard di efficienza energetica; parallelamente, l’integrazione di SRI e Digital Twin può supportare processi decisionali basati sui dati per migliorare l’efficienza operativa, il miglioramento dell’affidabilità dei sistemi energetici (Pan et alii, 2023), l’ottimizzazione delle risorse e il comfort degli occupanti degli edifici (Desogus et alii, 2023). La raccomandazione già espressa nei documenti europei invita a implementare lo SRI nelle politiche nazionali degli Stati membri; parallelamente sono oltremodo necessari ulteriori studi per monitorare gli impatti nel lungo termine e adattare la metodologia all’evoluzione delle tecnologie e delle esigenze degli utenti degli edifici.

Climate change, decarbonisation, energy, and energy efficiency highlight the need for the actual implementation of the energy transition processes concerning the built environment, assuming as driving forces the opportunities that the more general ecological and digital transition introduces (Fokaides et alii, 2020; Ma et alii, 2023). Similarly, European policies highlight this urgency, focusing on the need for strategies and operational practices for sustainable development scenarios (UN – General Assembly, 2015; UNEP, 2016; Hussin, Rahman and Memon, 2013; Huang et alii, 2018). With carbon and climate neutrality strategies, the European Green Deal identifies objectives, directions and actions aimed at clean and sustainable energy, emphasising energy efficiency and adopting renewable energy sources (European Commission, 2019). These two aspects, which the construction sector has long recognised as absolutely central, alongside a third – decarbonisation – aim to establish increasingly climate-neutral and low-carbon supply chains in the entire life cycle of buildings and infrastructure (El jaouhari et alii, 2023; Ravikumar et alii, 2024).

In this scenario, the definition of the European

Directive on the Energy Efficiency of Buildings 844/2018 EPBD (Energy Performance of Buildings Directive; European Parliament and Council of the European Union, 2018) represents a key step (European Parliament and Council of the European Union, 2002, 2012, 2023, 2024); equally strategic is the definition and simultaneous introduction in the EPBD of the Smart Readiness Indicator (SRI). It is both an assessment tool and an instrument for promoting the sustainability and efficiency of buildings, highlighting a predisposition to adopt intelligent technologies for energy saving and/or for using different energy resources. Furthermore, it also pinpoints possible areas of improvement through the integration of digital processes and technologies (European Commission, 2020b, 2020c; European Commission et alii, 2020).

Using the outlined framework, the paper discusses and integrates the issues connected to energy transition with the principles and methodological aspects that guided the definition of the SRI. It defines a position paper providing an overview through critically analysing methodological and applicative potentials and criticisms. The paper opens specific insights related to research activities currently conducted by the author on innovative governance of the building stock according to digital twin approaches in a climate-proof scenario. It considers the interaction between Digital Twin and decarbonisation as its original reading key.

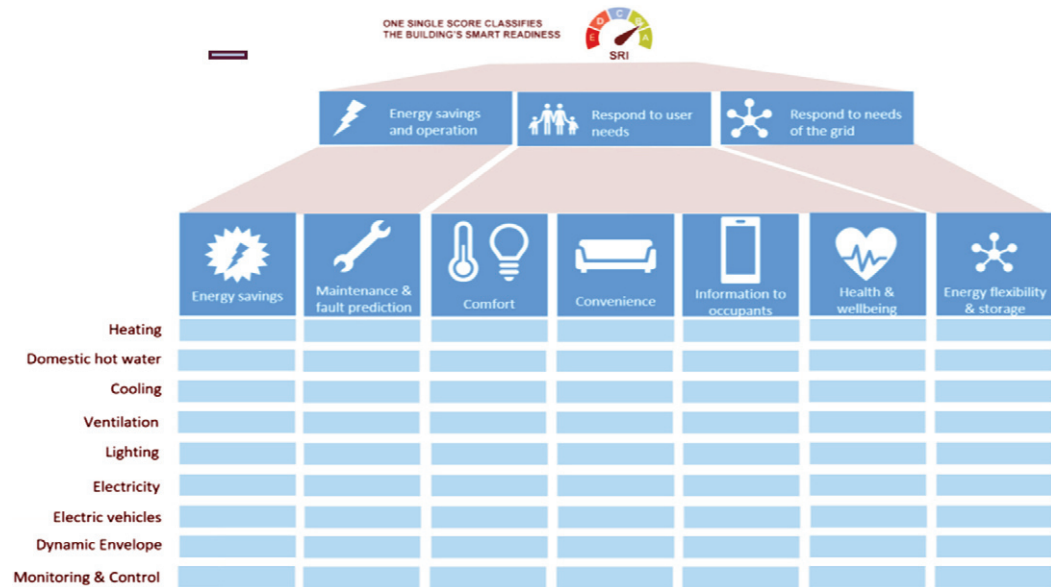
Scientific and regulatory scenario | Since its launch in 2019, the European Green Deal looks like an ambitious and comprehensive strategy for transforming the European Union into a climate-neutral economy by 2050. Energy transition lies at the heart of this strategy: one pivotal objective is the development of a fully integrated, interconnected, and digitised energy market, largely based on renewable sources, energy efficiency and improving the energy performance of buildings (European Commission, 2019). This goal is central to the Renovation Wave Strategy (European Commission, 2020d) and pervasive in numerous other EU documents (IPCC, 2018; IPCC, 2023) and policies related to climate and energy, also at the national level. These documents unanimously emphasise the synergy between three strategic areas (energy-climate-built environment) and introduce the first aspect defining the scientific and regulatory context in which the SRI definition is placed: energetic transition.

Several general aspects, already identified as priorities by the European Green Deal, are reiterated and expressed across other different domains: from reducing greenhouse gas emissions – at least by 55% by 2030 compared to 1990 levels – through the adoption of renewable energy sources and energy efficiency in buildings and transportation (GABC, IEA and UNEP, 2019), pro-

moting renewable energies – to increase the share of renewable energies to 32% of total energy consumption by 2030 – facilitating the transition to a completely sustainable and clean energy supply (EPRS, 2020). Moreover, financial incentives and investments are available through key economic instruments such as the Just Transition Fund and the Next Generation EU, aimed at supporting the transition to a low-carbon economy, promoting sustainable economic growth, and providing substantial investments in clean energy and low-impact environmental technologies (European Commission, 2020a).

Additionally, support for innovation and research aims to promote the development of advanced technologies and sustainable solutions in the clean energy sector through financial and infrastructural funds from programs like Horizon Europe¹ (Mosely, 2017) and the European Innovation Council², or the definition of effective regulatory reforms to facilitate the transition to a circular and low-carbon economy (Ravikumar et alii, 2024). These measures, partly derived from the general orders, directly express the relationship between energy transition and building stock, as supported by studies and reports (UNEP and IEA, 2017; IPCC, 2018, 2023; IEA, 2020). Key considerations emerge from these documents, delineating some specific areas of action closely related to the construction sector, confirming the synergy between climate, energy and built environment and the potentials and contributions that the building stock can offer for both energy consumption and reduction in CO₂ emissions:

- Strategies and Public Policies, properly oriented, can play a fundamental role in promoting the transition to building efficiency through regulations, financial incentives, energy performance standards, and awareness Programs (European Parliament and Council of the European Union, 2012; De Fátima Castro, 2020; Mlecnik et alii, 2020);
- Environmental Impact of buildings as the building stock accounts for a significant portion of global energy consumption (about 28%) and is responsible for approximately 17% of global CO₂ emissions (IEA, 2017; Khan et alii, 2014; Huang et alii, 2018);
- Energy Efficiency of buildings represents a huge potential for energy savings; it is estimated that the implementation of energy-efficient building technologies could reduce global building energy consumption by 50% by 2050 (IEA, 2020; Fokai-des et alii, 2020);
- Systemic Approach for a mutual combination of advanced technologies and integrated management capable of optimising resource use, adapting to the needs of occupants and environmental conditions (UNEP, 2016; European Commission, 2020d; Benavente-Peces, 2019);
- Indoor Quality and Well-being because the Energy Efficiency Interventions in buildings, in contributing to the reduction of atmospheric pollution, can impact the improvement of indoor air quality, with direct benefits for human health (UNEP, 2016; WHO and IPCS, 2021);
- Climate Resilience is intrinsically expressed by energy-efficient buildings that reduce dependence on fossil energy sources by mitigating the effects of climate change (IEA, 2020; Dale et alii, 2023);
- Long-term Economic Savings produced, according to some studies from the European Union, by



SRI - CALCULATION METHODOLOGY

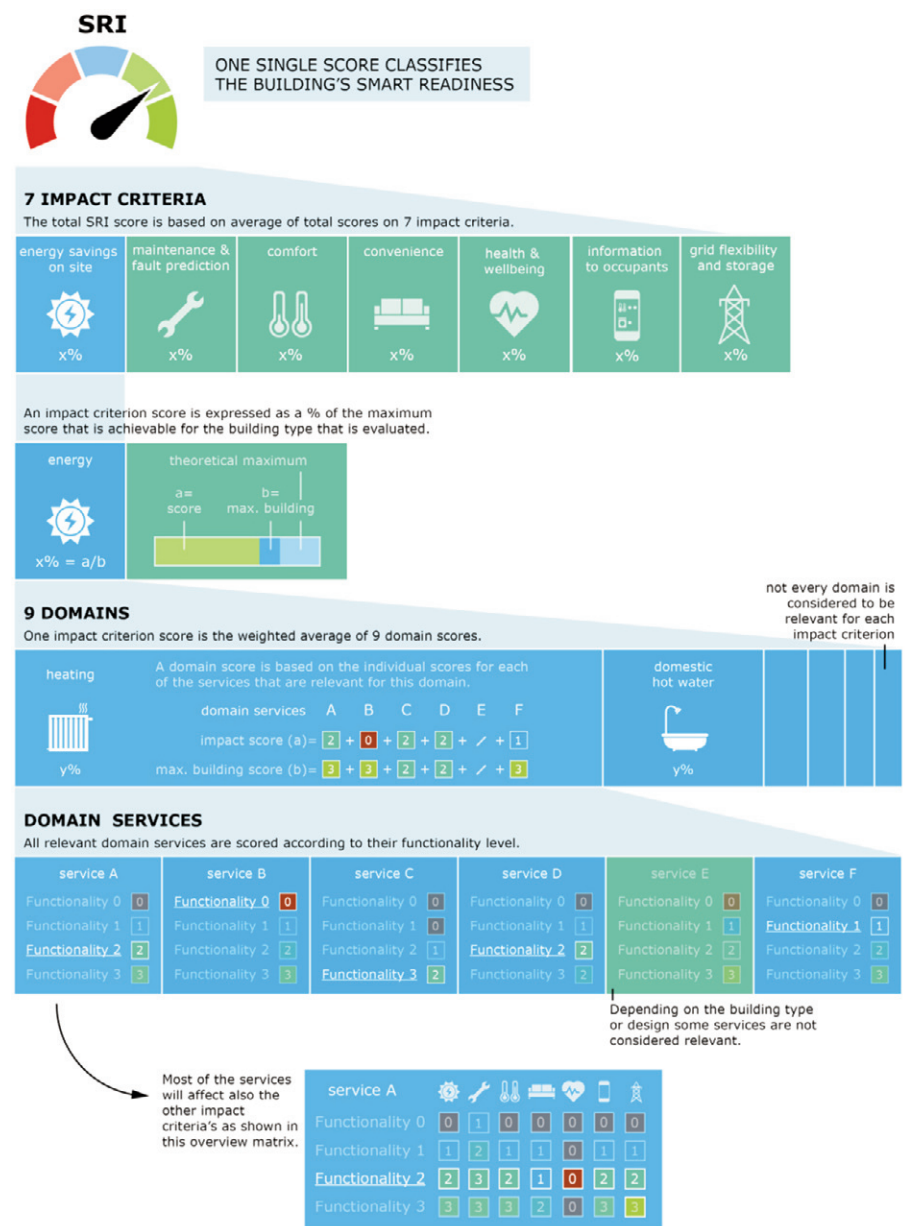


Fig. 6 | Structure of domains and impacts criteria (source: European Commission et alii, 2020).

Fig. 7 | Summary of the calculation methodology (source: European Commission et alii, 2020).

Year	Site	Type of buildings	Reference
2018	Helsinki (Finland)	No. 3 non residential buildings	Janhunen, E., Pulkka, L., Säynäjoki, A. and Junnila, S. (2019), "Applicability of the Smart Readiness Indicator for Cold Climate Countries", in <i>Buildings</i> , vol. 9, issue 4, article 102, pp. 1-18
2018	Cyprus	No. 1 building of mixed use	Fokaides, P. A., Panteli, C. and Panayidou, A. (2019), "How are the Smart Readiness Indicators expected to affect the energy performance of buildings – First evidence and perspectives", in <i>Sustainability</i> , vol. 12, issue 22, article 9496, pp. 1-12
2019	Bolzano (Italy)	No. 1 nearly zero-energy building (nZEB) The Black Monolith	Vigna, I., Perneti, R., Pernigotto, G. and Gasparella, A. (2020), "Analysis of the Building Smart Readiness Indicator Calculation – A comparative case-study with two Panels of Experts", in <i>Energies</i> , vol. 13, issue 11, article 2796, pp. 1-18
2019	Bolzano (Italy)	No. 1 nearly zero-energy building (nZEB) The Black Monolith	Vigna, I., Perneti, R., Pernigotto, G. and Gasparella, A. (2020), "Analysis of the Building Smart Readiness Indicator Calculation – A comparative case-study with two Panels of Experts", in <i>Energies</i> , vol. 13, issue 11, article 2796, pp. 1-18
2020	Thessaloniki (Greece)	No. 1 typical office building at Frederick University	Chatzikonstantinidis, K., Giama, E., Fokaides, P. A. and Papadopoulos, A. M. (2024), "Smart Readiness Indicator (SRI) as a Decision-Making Tool for Low Carbon Buildings", in <i>Energies</i> , vol. 17, issue 6, article 1406, pp. 1-23
2021	Kaunas (Lithuania)	No. 1 building at Kaunas University of Technology	Plienaitis, G., Daukšys, M., Demetriou, E., Ioannou, B., Fokaides, P. A. and Seduikyte, L. (2023), "Evaluation of the Smart Readiness Indicator for Educational Buildings", in <i>Buildings</i> , vol. 13, issue 4, article 888, pp. 1-13

Tab. 1 | Overview of some SRI applications in case studies from scientific literature (credit: by the Author, 2024).

Barriers to adoption	Potential benefits	Barriers to adoption	Potential benefits
Align the different coin-faced actors in the adoption process of the SRI	Stimulating investment in smart (digital) building technology	Poor knowledge of the directive and limited effective applicability	Promote the use of energy efficiency solutions in buildings
Consider the technological constraints (different types of installations, buildings, protocols used, etc.) and gain access to the necessary data	Promoting technological innovation in buildings	Limited awareness of the actors involved	Promoting technological innovation in buildings
There is a risk of a process with a high level of bureaucracy and a very long time frame	Promote the use of energy efficiency solutions in buildings	Ageing of the building stock and poor development of the real estate sector	Stimulating investment in smart (digital) building technology
	Allow a reduction in energy consumption	Introduction of higher costs for non-quantifiable savings	Allow a reduction in energy consumption
		Introduction of a process characterised by a strong bureaucratic component with a very long time	

Tab. 2 | Smart Readiness Indicator Survey (SRI) in Europe: barriers and potential benefits (source: Energy & Strategy Group, 2021; adapted by the Author, 2024).

Tab. 3 | Smart Readiness Indicator Survey (SRI) in Italy: barriers and potential benefits (source: Energy & Strategy Group, 2021; adapted by the Author, 2024).

investments in the energy efficiency of buildings (Corte dei Conti Europea, 2020; Banfi et alii, 2022).

Further areas of a more operational nature take technological innovation as a central element in building management (Sovacool and Furszyfer Del Rio, 2020):

- Adoption of Advanced Technologies like the use and implementation of high-efficiency heating and cooling systems, improved thermal insulation, high-performance windows, and the integration of intelligent energy management and monitoring systems, such as sensors, automated controls, home automation devices, and the Internet of Things

(IoT), according to the International Energy Agency, could significantly decrease energy consumption and reduce CO₂ emissions from the building sector by over one-third by 2030 and over 40% by 2050 (IEA, 2020; Yan, Zhou and Yang, 2023);

- Use of Renewable Energy Sources like photovoltaic systems, solar thermal, and heat pumps can reduce dependence on fossil energy sources and contribute to a significant reduction in CO₂ emissions (IEA, 2020); electrification of buildings with renewable sources could contribute to reducing CO₂ emissions in the building sector by up to 95% by 2050 (IEA, 2020; Arteconi, Mugnini and

Polonara, 2019);

- Use of Low-impact Building Materials, for example, of recycled materials, such as wood from sustainably managed forests and/or low-carbon emission materials, which, according to an analysis from the Global Alliance for Buildings and Construction, could reduce global CO₂ emissions associated with building production and construction by 10% by 2050 (GABC, IEA and UNEP, 2019).

The relationship between energy transition and built heritage, between energy savings and emission reduction, intersects with technological innovation and smart management of building life cy-

cles, outlining scenarios in which buildings become smart buildings, nodes within smart cities and smart grids. These buildings can integrate advanced technologies and digital solutions to improve energy efficiency, sustainability, and overall performance (Energy & Strategy Group, 2021; Apanavičienė, Vanagas and Fokaides, 2020; Yitmen et alii, 2021).

It identifies the second aspect introducing the scientific and regulatory context in which the SRI definition is placed: the digital asset and the role of emerging technologies (Fig. 1).

Artificial intelligence (AI), Internet of Things (IoT), Augmented Reality (AR), Virtual Reality (VR), blockchain, and 3D printing are just some of the emerging technologies revolutionising the modes and processes of transformation and management of the built heritage. They offer innovative solutions for data collection and analysis, new opportunities to optimise energy efficiency, improve building safety and quality, as well as simplifying decision-making processes and resource management:

- Monitoring and Predictive Maintenance; the use of IoT sensors allows for real-time data collection and monitoring of building and system performance and conditions (Hassebo and Tealab, 2023);
- Data-driven Decision-making; artificial intelligence can be employed to analyse large datasets and identify patterns, models, and trends, supporting informed decisions (Dell'Isola et alii, 2019);
- User Engagement; AR and VR can be used to engage users, enhancing public participation and understanding of management decisions (Böhm et alii, 2021);
- Increased Transparency and Security; blockchain can be employed to ensure data transparency and integrity, as well as their security and governance (Rodrigo et alii, 2020).

Multiple contributions also highlight the potential impact of such technologies on energy efficiency and sustainability (Xu et alii, 2023) and collaborative governance of building energy systems; they offer a detailed analysis of opportunities and challenges for building energy management (Zhao et alii, 2023), with a focus on practical applications (Bortolini et alii, 2021).

This scenario also outlines the third and final aspect defining the scientific and regulatory context of the Smart Readiness Indicator. It is the EPBD (European Parliament and Council of the European Union, 2018). The Directive, since its first version, had already emphasised the general importance of transforming the construction sector into a more sustainable, efficient, and resilient industry, promoting a different approach to building energy efficiency through the introduction of the concept of 'smart' management and a series of measures to improve building energy performance with a view to smart building. The current (new) version has confirmed and strengthened the previous assumptions, reaffirming the nodal role of smart buildings in the decarbonisation processes and greenhouse gas emissions reduction by 2050 (European Parliament and Council of the European Union, 2002, 2012, 2023, 2024).

The document reiterates the importance of functionalities related to energy performance requirements (from nZEB to ZEB) and the building's ability to actively interact with operators, end users, and energy, plant, and management networks; it aims to raise awareness of the benefits of smart technologies in buildings and encourage their in-

tegration (Zangheri and Castellazzi, 2016; Dell'Isola et alii, 2019; Benavente-Peces, 2019).

Furthermore, the Directive introduces, as a key aspect, the Smart Readiness Indicator (SRI) to assess the technological readiness of buildings, their interaction with occupants, and energy networks; it has been introduced since the first version of the EPBD and serves as a standardised tool to assess and promote smart constructions (European Parliament and Council of the European Union, 2018; European Commission, 2020b, 2020c; European Commission et alii, 2020).

Therefore, complementary objectives emerge: first, the EPBD aims to promote the energy efficiency of buildings through a series of measures, including improving their energy performance and promoting the use of smart technologies; second, the SRI proposes a standardised method to orienting and promoting the use of smart technologies that could lead to significant energy savings by 2030. Together, they play a strategic role in achieving the energy efficiency goals set by the European Union, reducing greenhouse gas emissions, and improving environmental sustainability (Fokaides, Panteli and Panayidou, 2019).

Smart Readiness Indicator: principles, methodological aspects, applications

The introduction of the SRI by the EPBD 2018/844 Directive represents a fundamental step (European Parliament and Council of the European Union, 2018; European Commission et alii, 2020). The outlined background provides and highlights its key elements: promotion and adoption of advanced solutions and smart technologies; reduction of the environmental impact of buildings and greenhouse gas emissions; achievement of energy efficiency goals; improvement of occupants' life quality; acceleration of the digital innovation processes in the sector (Fig. 2).

The starting point is the definition of 'smartness' introduced by the European Commission of Standardization – CEN, by Technical Committee CEN/TC247³ (UNI EN 15232-1:2017; UNI EN ISO 52120-1:2022) – namely the ability of a building to integrate advanced technologies and digital solutions for improving performance in terms of energy efficiency and occupants' comfort and to facilitate the transition to smart and sustainable buildings (Al Dakheel et alii, 2020).

Parallel to the standardisation work conducted by CEN/TC247 and in line with the proposed method for classifying the smartness of building automation and control systems (BACS; UNI EN 15232-1:2017; UNI EN ISO 52120-1:2022), the European Commission, coherently with the new version of the EPBD, plans an elaborate plan to support the development of the SRI through two technical studies supported by an experimental phase that is expected to be closed at the end of 2024 (European Commission, 2020b, 2020c; European Commission et alii, 2020; Plienaitis et alii, 2023).

The first study, conducted by a consortium composed of VITO, Waide Strategic Efficiency, Ecofys and OFFIS, focused on defining the structure of a harmonised European assessment tool (Verbeke et alii, 2018); the second, conducted in continuity with the previous one, concerns the implementation of technical inputs (European Commission et alii, 2020). The two studies have provided

for active collaboration with stakeholders through consultations, meetings, surveys, and feedback collection. (Fig. 3). Technical documents, beta test results and impact assessments of the SRI implementation were examined. In this scenario, the SRI is thus configured as a Key Performance Indicator (KPI).

The principles that instruct and configure its methodological and operational framework refer to three areas: 'key functionality criteria', 'impact criteria', and 'technical domains'. The first is declined into three main criteria, the second into seven impact criteria, and the third into nine technical domains. Together, they express the dimensions of the building's smart readiness:

- key functionality criteria; energy efficiency and operation, response to occupants' needs and energy flexibility express the building's ability to autonomously and efficiently regulate its energy consumption (also using renewable sources), to adapt to users' needs, and to participate in energy demand management, for example, through energy storage;
- impact criteria; energy efficiency, maintenance and fault prediction, comfort, convenience, health, well-being, accessibility, information to occupants, and energy flexibility and storage and evaluate the direct and indirect effects of smart technologies on the building and its users (Fig. 4);
- technical domains; heating, cooling, domestic hot water, ventilation, lighting, dynamic building envelope, electricity, electric vehicle charging, and monitoring and control represent the different areas, fixed by SRI, where smart technologies can be implemented to improve building performance (Fig. 5).

For the effective operability of the SRI, the following aspects are added to the listed principles: – the calculation methodology introduces the examination of the so-called 'smart ready services' that are present and/or planned in the building; these services are defined neutrally concerning specific technology; they are evaluated through two service catalogues (a detailed method and a simplified method), each listing both relevant services and their level of 'intelligence' and the description of expected impacts on users and the energy network (Figg. 6, 7);

- smart readiness scores allow the evaluation of services based on functionality levels reflecting intelligent technology implementation. Different functionality levels are defined for each smart service, and then impact scores are assigned to each functionality level and aggregated to calculate the building's smart readiness score expressed as a percentage;
- updates and monitoring represent a fundamental step in verifying the applicability and effectiveness of the SRI.

The experimental phase involved some Member States (Austria, Croatia, the Czech Republic, Denmark, Finland and France) committed to applying the assessment process to residential and commercial building samples voluntarily. It deals with some steps: monitoring the application phases, analysing related feedback and transmitting results to the European Commission⁴. No specific guidelines have been drawn up for applying the SRI (European Commission, 2020c); this has allowed individual States to implement its application concerning their contexts (Plienaitis et alii, 2023;

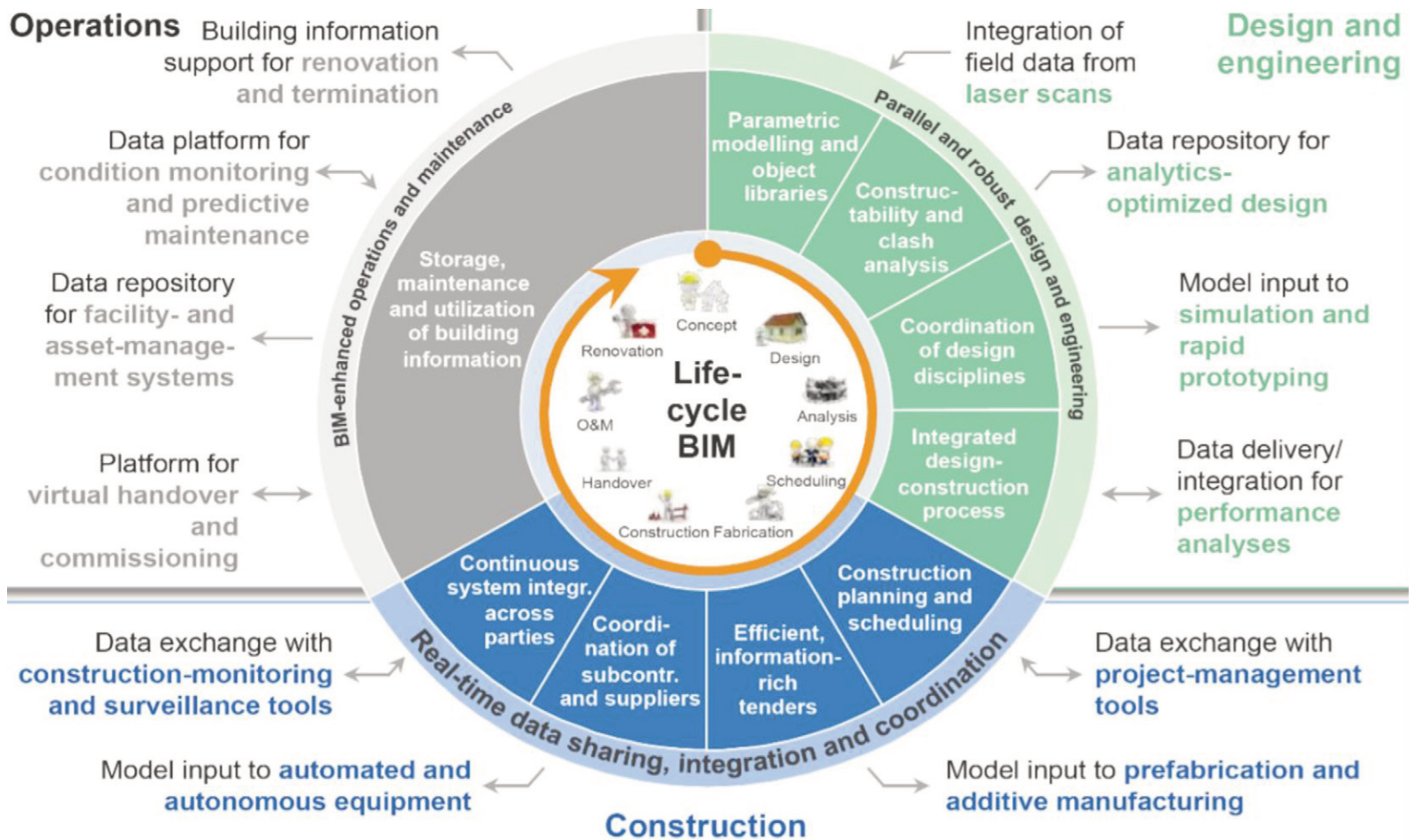


Fig. 8 | Applications of BIM along the engineering and construction value chain (source: WEF, 2016).

Janhunen et alii, 2019; Tab. 1).

Italy, while not adhering to the European initiative, has also conducted several experiments through the National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development (ENEA): from the 'smartness' assessment of the existing buildings to evaluate their potential for improvement to the application of the SRI calculation methodology to different categories of buildings with various levels of automation and smart equipment (Vigna et alii, 2020; Canale et alii, 2021).

Beta tests of the European experimentation have confirmed the feasibility of the proposed approach and led to further methodological refinements. Impact assessments have highlighted significant net benefits from SRI implementation throughout the European Union. Its widespread adoption could lead to energy savings of up to 10% in the residential and commercial sectors by 2030 (Plienaitis et alii, 2023; Tab. 2, 3). Further applications concern the possible integration of SRI directly into national energy certification systems.

The testing phase of the SRI, which is expected to be completed by the end of 2024, its regulatory implementation with the new version of the EPBDs and the scientific literature on the subject already make it possible to highlight potential and critical issues related to its methodological applicability: an initial summary of both is given here, which opens up possible scenarios for future in-depth studies. Among the main potentials:

- integrated evaluation of energy performance;

the SRI provides a standardised method to assess both energy efficiency and the ability of buildings to adopt intelligent technologies optimising energy use and improve occupant comfort; it also plays a key role in promoting sustainable urban planning (Chatzikonstantinidis et alii, 2024).

- optimisation of energy behaviour; indicators provided by the SRI can help owners and operators in identifying priority intervention areas, planning appropriate strategies, and enabling targeted interventions to improve energy efficiency and reduce consumption (Fokaides, Panteli and Panayidou, 2019).

- promotion of technological innovation; the SRI can act as an accelerator for the adoption of smart technologies in buildings, promoting innovation in the construction and energy sectors; it is relevant its possible integration with Digital Twin and Building Information Modeling (BIM) for building performance simulation, energy efficiency, and occupant comfort (Nguyen and Adhikari, 2022).

Furthermore, some other criticalities emerge:

- complexity; implementing the SRI is complex due to the variety of technologies and systems that have to be considered in the evaluation and the need to standardise measurement and evaluation methods; the latter aspect and the definition of coherent and reliable criteria and parameters represent the most critical challenge to ensure accurate and comparable building assessment (Pan et alii, 2023);

- costs and required resources; assessing the SRI requires financial and human resources connected to training and technical aspects; it also deals

with instrumental considerations related to the acquisition and installation of devices for control and monitoring and subsequent data analysis and interpretation; these costs are now a barrier to the dissemination and adoption of the SRI (Plienaitis et alii, 2023);

- interpretation of results; properly interpreting the results obtained through the SRI is not straightforward; complex data is involved, so it is important to provide clear guidelines and technical support to ensure, at first, a correct interpretation of the indicators and then the appropriate definition of improvement strategies (Piras, Agostinelli and Muzi, 2024).

The challenges relating to standardising, evaluating and communicating the SRI's results and its integration into building regulations and energy policies are clear. Equally evident are also the challenges related to the implementation of SRI with digital assets and related enabling technologies – including BIM, IoT, and Digital Twin approaches – that allow constant monitoring of the behaviour of buildings in terms of consumption and comfort and more intelligent management of the life cycle of buildings; at the same time they improve the effectiveness of the application of SRI (Cespedes Cubides and Jradi, 2024).

Conclusions and future prospects | The Smart Readiness Indicator represents a pivotal step in promoting building sustainability and transitioning towards a low-carbon economy. However, the scientific literature clearly shows the need to address the challenges and maximise its potential in

achieving decarbonisation and climate neutrality in the built environment (Apanavičienė, Vanagas, and Fokaides, 2020; Omrany et alii, 2023).

The interaction among SRI, smart building technologies, and Digital Twin approaches represents a key issue that is still unexplored. Despite this, it appears capable of maximising benefits concerning sustainability, efficiency, and occupant comfort within energy transition scenarios (Zhao et alii, 2023; Kineber et alii, 2023).

The SRI evaluates the physical characteristics of buildings, management systems, and existing digital infrastructures, providing an overall picture of their potential for adaptation to smart technologies implementation. These latest are recognised for the capability to simplify building management, reduce energy consumption through advanced energy management systems, and control and monitor building performance through IoT solutions.

Digital Twin approaches, finally, are based on creating digital models of buildings that accurately reflect their physical and functional characteristics: the digital replica integrates data from sensors, IoT devices, and other monitoring systems, allowing the simulation of building behaviour under different conditions and optimising performance through real-time data analysis (UNEP and IEA, 2017; Botin Sanabria et alii, 2021; Aliero et alii, 2022; Piras, Agostinelli and Muzi, 2024; Lauria and Azzalin, 2024).

Integrating SRI, smart building, and Digital Twin technologies allows advanced solutions to achieve higher levels of smartness and compliance with energy efficiency standards. It can support data-driven decision-making processes to enhance operational efficiency, improve the reliability of energy systems (Pan et alii, 2023), optimise resources, and enhance occupant comfort in buildings (Desogus et alii, 2023). The recommendation, already

expressed in European documents, calls for implementing SRI and integrating it into the national policies of Member States; further studies are also required to monitor long-term impacts and adapt the methodology according to the evolution of technologies and the needs of building users.

Notes

1) For more information, see the webpage: research-and-innovation.ec.europa.eu/funding/funding-opportunities/funding-programmes-and-open-calls/horizon-europe_en [Accessed 30 March 2024].

2) For more information, see the webpage: ec.europa.eu/index_en [Accessed 30 March 2024].

3) The definition of smartness is introduced from the work of the Technical Committee CEN/TC 247 of the European Committee for Standardisation, CEN. Reference standards are EN 15232:2008, which presents for the first time a method for classifying the smartness of building automation systems (BACS) and control systems; the standard remains in force until 2017, when it was replaced by EN ISO 52120 in 2022.

4) For more information, see the webpage: ec.europa.eu/energy/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/smart-readiness-indicator_en [Accessed 30 March 2024].

References

Al Dakheel, J., Del Pero, C., Aste, N. and Leonforte, F. (2020), “Smart buildings features and key performance indicators – A review”, in *Sustainable Cities and Society*, vol. 61, article 102328, pp.1-19 [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.scs.2020.102328 [Accessed 30 March 2024].

Aliero, M. S., Asif, M., Ghani, I., Pasha, M. F. and Jeong, S. R. (2022), “Systematic Review Analysis on Smart Building – Challenges and Opportunities”, in *Sustainability*, vol. 14, issue 5, article 3009, pp. 1-28. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su14053009 [Accessed 30 March 2024].

Apanavičienė, R. and Shahrabani, M. M. (2023), “Key Factors Affecting Smart Building Integration into Smart City – Technological Aspects”, in *Smart Cities*, vol. 6, issue 4, article 85, pp. 1832-1857. [Online] Available at: doi.org/10.3390/smartcities6040085 [Accessed 30 March 2024].

Apanavičienė, R., Vanagas, A. and Fokaides, P. A. (2020), “Smart Building Integration into a Smart City (SBISC) – Development of a New Evaluation Framework”, in *Ener-*

gies, vol. 13, issue 9, article 2190, pp. 1-19. [Online] Available at: doi.org/10.3390/en13092190. [Accessed 30 March 2024].

Arteconi, A., Mugnini, A. and Polonara, F. (2019), “Energy flexible buildings – A methodology for rating the flexibility performance of buildings with electric heating and cooling systems”, in *Applied Energy*, vol. 251, article 113387, pp. 1-17. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113387 [Accessed 30 March 2024].

Banfi, F., Brumana, R., Salvalai, G. and Previtali, M. (2022), “Digital Twin and Cloud BIM-XR Platform Development – From Scan-to-BIM-to-DT Process to a 4D Multi-User Live App to Improve Building Comfort, Efficiency and Costs”, in *Energies*, vol. 15, article 4497, pp. 1-26. [Online] Available at: doi.org/10.3390/en15124497 [Accessed 30 March 2024].

Benavente-Peces, C. (2019), “On the Energy Efficiency in the Next Generation of Smart Buildings – Supporting Technologies and Techniques”, in *Energies*, vol. 12, issue 22, article 4399, pp. 1-25. [Online] Available at: doi.org/10.3390/en12224399 [Accessed 30 March 2024].

Böhm, F., Dietz, M., Preindl, T. and Pernul, G. (2021), “Augmented Reality and the Digital Twin – State of the art and perspectives for Cybersecurity”, in *Journal of Cybersecurity and Privacy*, vol. 1, issue 3, article 26, pp. 519-538. [Online] Available at: doi.org/10.3390/jcp1030026 [Accessed 30 March 2024].

Bortolini, R., Rodrigues, R., Alavi, H., Vecchia, L. F. and Forcada, N. (2021), “Digital Twins’ Applications for Building Energy Efficiency – A Review”, in *Energies*, vol. 15, issue 19, article 7002, pp. 1-17. [Online] Available at: doi.org/10.3390/en15197002 [Accessed 30 March 2024].

Botin Sanabria, M. D., Mihaita, A., Peimbert Garcia, R. E., Ramirez Moreno, M. A., Ramirez Mendoza, R. A. and Lozoya Santos, J. de J. (2021), “Digital Twin Technology Challenges and Applications – A comprehensive review”, in *Remote Sensing*, vol. 14, issue 6, article 1335, pp. 1-25. [Online] Available at: doi.org/10.3390/rs14061335 [Accessed 30 March 2024].

Canale, L., De Monaco, M., Di Pietra, B., Puglisi, G., Ficco, G., Bertini, I. and Dell’Isola, M. (2021), “Estimating the Smart Readiness Indicator in the Italian residential

building stock in different Scenarios”, in *Energies*, vol. 14, issue 20, article 6442, pp. 1-19. [Online] Available at: doi.org/10.3390/en14206442 [Accessed 30 March 2024].

Castro, M. D. F., Mateus, R., Serôdio, F. and Bragança, L. (2015), “Development of benchmarks for operating costs and resources consumption to be used in Healthcare Building Sustainability Assessment Methods”, in *Sustainability*, vol. 7, issue 10, pp. 13222-13248. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su71013222 [Accessed 30 March 2024].

Cespedes Cubides, A. S. and Jradi, M. (2024), “A review of building digital twins to improve energy efficiency in the building operational stage”, in *Energy Informatics*, vol. 7, article 11, pp. 1-31. [Online] Available at: doi.org/10.1186/s42162-024-00313-7 [Accessed 30 March 2024].

Chatzikonstantinidis, K., Giama, E., Fokaides, P. A. and Papadopoulos, A. M. (2024), “Smart Readiness Indicator (SRI) as a Decision-Making Tool for Low Carbon Buildings”, in *Energies*, vol. 17, issue 6, article 1406, pp. 1-23. [Online] Available at: doi.org/10.3390/en17061406 [Accessed 30 March 2024].

Corte dei Conti Europea (2020), *Efficienza energetica degli edifici – Permane la necessità di una maggiore attenzione al rapporto costi-benefici*, Relazione speciale 11/2020. [Online] Available at: eca.europa.eu/it/publications?did=53483 [Accessed 30 March 2024].

Dale, K. I., Pope, E. C. D., Hopkinson, A. R., McCaie, T. and Lowe, J. A. (2023), “Environment Aware Digital Twins – Incorporating Weather and Climate Information to Support Risk-Based Decision-Making”, in *Artificial Intelligence for the Earth Systems*, vol. 2, issue 4, pp. 1-6. [Online] Available at: doi.org/10.1175/AIES-D-23-0023.1 [Accessed 30 March 2024].

De Fátima Castro, M., Colclough, S., Machado, B., Andrade, J. and Bragança, L. (2020), “European legislation and incentives programmes for demand Side management”, in *Solar Energy*, vol. 200, pp. 114-124. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.solener.2019.12.004 [Accessed 30 March 2024].

Dell’Isola, M., Ficco, G., Canale, L., Palella, B. I. and Puglisi, G. (2019), “An IoT Integrated Tool to enhance user awareness on energy consumption in Residential Buildings”, in *Atmosphere*, vol. 10, issue 12, article 743, pp. 1-

18. [Online] Available at: doi.org/10.3390/atmos10120743 [Accessed 30 March 2024].

Desogus, G., Frau, C., Quaquero, E. and Rubiu, G. (2023), "From Building Information Model to Digital Twin – A Framework for Building Thermal Comfort Monitoring, Visualizing, and Assessment", in *Buildings*, vol. 13, issue 8, article 1971, pp. 1-22. [Online] Available at: doi.org/10.3390/buildings13081971 [Accessed 30 March 2024].

El jaouhari, A., Arif, J., Samadhiya, A. and Kumar, A. (2023), "Net zero supply chain performance and industry 4.0 technologies – Past review and present introspective analysis for future research directions", in *Heliyon*, vol. 9, issue 11, article e21525, pp. 1-29. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21525 [Accessed 30 March 2024].

Energy & Strategy Group (2021), *Smart Building Report 2021 – Efficienza energetica e tecnologie digitali per innovare il settore degli edifici*, Politecnico di Milano. [Online] Available at: ecquologia.com/smart-building-report-2021/ [Accessed 30 March 2024].

EPRS – European Parliamentary Research Service (2020), *European Green Deal Investment Plan – Main elements and possible impact of the coronavirus pandemic*. [Online] Available at: europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2020/649371/EPRS_BRI(2020)649371_EN.pdf [Accessed 30 March 2024].

European Commission (2020a), *Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – Stepping up Europe's 2030 climate ambition Investing in a climate-neutral future for the benefit of our people*, document 52020DC0562, 562 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52020DC0562it [Accessed 30 March 2024].

European Commission, (2020b), *Commission Delegated Regulation (EU) 2020/2155 of 14 October 2020 supplementing Directive (EU) 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council by establishing an optional common European Union scheme for rating the smart readiness of buildings*, document 32020R2155, C/2020/6930. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/eli/reg_del/2020/2155/oj [Accessed 30 March 2024].

European Commission, (2020c), *Commission Implementing Regulation (EU) 2020/2156 of 14 October 2020 detailing the technical modalities for the effective implementation of an optional common Union scheme for rating the smart readiness of buildings*, document 32020R2156, C/2020/6929. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/eli/reg_impl/2020/2156/oj [Accessed 30 March 2024].

European Commission (2020d), *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – A Renovation Wave for Europe – Greening our buildings, creating jobs, improving lives*, document 52020DC0662, 662 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1603122220757&uri=CELEX:52020DC0662 [Accessed 30 March 2024].

European Commission (2019), *Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – The European Green Deal*, document 52019DC0640, 640 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN [Accessed 30 March 2024].

European Commission – Directorate-General for Energy, Verbeke, S., Aerts, D., Reynders, G., Ma, Y. and Waide, P. (2020), *Final report on the technical support to the development of a smart readiness indicator for buildings*. [Online] Available at: op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/f9e6d89d-fbb1-11ea-b44f-01aa75ed71a1 [Accessed 30 March 2024].

European Parliament and Council of the European Union (2024), *Directive (EU) 2024/1275 of the European Parliament and of the Council of 24 April 2024 on the energy per-*

formance of buildings (recast), document 32024L1275, PE/102/2023/REV/1. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/eli/dir/2024/1275/oj?uri=OJ:L_202401275 [Accessed 27 April 2024].

European Parliament and Council of the European Union (2023), *Directive (EU) 2023/1791 of the European Parliament and of the Council of 13 September 2023 on energy efficiency and amending Regulation (EU) 2023/955 (recast)*, document 32023L1791, PE/15/2023/INIT. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/eli/dir/2023/1791/oj [Accessed 30 March 2024].

European Parliament and Council of the European Union (2018), *Directive (EU) 2018/844 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 Amending Directive 2010/31/EU on the Energy Performance of Buildings and Directive 2012/27/EU on Energy Efficiency*, document 32018L0844, PE/4/2018/REV/1. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX:32018L0844 [Accessed 30 March 2024].

European Parliament and Council of the European Union (2012), *Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC*, document 32012L0027. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/eli/dir/2012/27/oj [Accessed 30 March 2024].

European Parliament and Council of the European Union (2002), *Directive 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2002 on the Energy Performance of Buildings*, document 32002L0091, no longer in force, date of end of validity 31/01/2012, repealed by Directive 2010/31/EU (recast), document 32010L0031. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/eli/dir/2002/91/oj [Accessed 30 March 2024].

Fokaides, P. A., Apanaviciene, R., Cerneckiene, J., Jurelionis, A., Klumbyte, E., Kriauciuniute-Neklejonoviene, V., Pupeikis, D., Rekus, D., Sadauskiene, J., Seduikyte, L., Stasiulienė, L., Vaiciunas, J., Valancius, R. and Ždankus, T. (2020), "Research challenges and advancements in the field of sustainable energy technologies in the built environment", in *Sustainability*, vol. 12, issue 20, article 8417, pp. 1-20. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su12208417 [Accessed 30 March 2024].

Fokaides, P. A., Panteli, C. and Panayidou, A. (2019), "How are the Smart Readiness Indicators expected to affect the energy performance of buildings – First evidence and perspectives", in *Sustainability*, vol. 12, issue 22, article 9496, pp. 1-12. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su12229496 [Accessed 30 March 2024].

GABC – Global Alliance for Buildings and Construction, IEA – International Energy Agency and UNEP – United Nations Environment Programme (2019), *2019 Global Status Report for buildings and construction – Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector*. [Online] Available at: iea.org/reports/global-status-report-for-buildings-and-construction-2019 [Accessed 30 March 2024].

Hassebo, A. and Tealab, M. (2023), "Global Models of Smart Cities and potential IoT applications – A Review", in *IoT*, vol. 4, issue 3, article 17, pp. 366-411. [Online] Available at: doi.org/10.3390/iot4030017 [Accessed 30 March 2024].

Huang, L., Krigsvoll, G., Johansen, F., Liu, Y. and Zhang, X. (2018), "Carbon emission of global construction sector", in *Renewable and Sustainable Energy*, vol. 81, part 2, pp. 1906-1916. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.001 [Accessed 30 March 2024].

Hussin, J. M., Rahman, I. A. and Memon, A. H. (2013), "The way forward in sustainable construction – Issues and challenges", in *International Journal of Advances in Applied Sciences (IJAAS)*, vol. 2, issue 1, pp. 15-24. [Online] Available at: ijaas.iaescore.com/index.php/IJAAS/article/view/790 [Accessed 30 March 2024].

IEA – International Energy Agency (2020), *Energy Technology Perspectives 2020*. [Online] Available at: iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2020 [Accessed 30 March 2024].

IEA – International Energy Agency (2017), *Digitalization and Energy Report*. [Online] Available at: iea.org/reports/digitalisation-and-energy.pdf [Accessed 30 March 2024].

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2023), *Climate Change 2023 – Synthesis Report – Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [Online] Available at: ipcc.ch/report/ar6/syr/ [Accessed 30 March 2024].

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2018), *Global warming of 1.5 °C – An IPCC Special Report*. [Online] Available at: ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_Full_Report_Low_Res.pdf [Accessed 30 March 2024].

Janhunen, E., Pulkka, L., Säynäjoki, A. and Junnila, S. (2019), "Applicability of the Smart Readiness Indicator for Cold Climate Countries", in *Buildings*, vol. 9, issue 4, article 102, pp. 1-18. [Online] Available at: doi.org/10.3390/buildings9040102 [Accessed 30 March 2024].

Khan, M. A., Khan, M. Z., Zaman, K. and Naz, L. (2014), "Global estimates of energy consumption and greenhouse gas emissions", in *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 29, pp. 336-344. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.091 [Accessed 30 March 2024].

Kineber, A. F., Singh, A. K., Fazeli, A., Mohandes, S. R., Cheung, C., Arashpour, M., Ejuhwo, O. and Zayed, T. (2023), "Modelling the relationship between digital twins implementation barriers and sustainability pillars – Insights from building and construction sector", in *Sustainable Cities and Society*, vol. 99, article 104930, pp. 1-20. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.scs.2023.104930 [Accessed 30 March 2024].

Lauria, M. and Azzalin, M. (2024), "Digital Twin approach in Buildings – Future challenges via a critical literature review", in *Buildings*, vol. 14, issue 2, article 376, pp. 1-18. [Online] Available at: doi.org/10.3390/buildings14020376 [Accessed 30 March 2024].

Ma, Z., Awan, M. B., Lu, M., Li, S., Aziz, M. S., Zhou, X., Du, H., Sha, X. and Li, Y. (2023), "An overview of emerging and sustainable technologies for increased energy efficiency and carbon emission mitigation in Buildings", in *Buildings*, vol. 13, issue 10, article 2658, pp. 1-26. [Online] Available at: doi.org/10.3390/buildings13102658 [Accessed 30 March 2024].

Mlecnik, E., Parker, J., Ma, Z., Corchero, C., Knotzer, A. and Perneti, R. (2020), "Policy challenges for the development of energy flexibility services", in *Energy Policy*, vol. 137, article 111147, pp. 1-8. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.enpol.2019.111147 [Accessed 30 March 2024].

Moseley, P. (2017), "EU Support for Innovation and Market Uptake in Smart Buildings under the Horizon 2020 Framework Programme", in *Buildings*, vol. 7, issue 4, article 105, pp. 1-24. [Online] Available at: doi.org/10.3390/buildings7040105 [Accessed 30 March 2024].

Nguyen, T. D. and Adhikari, S. (2022), "The role of BIM in integrating Digital Twin in Building Construction – A literature review", in *Sustainability*, vol. 15, issue 13, article 10462, pp. 1-26. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su151310462 [Accessed 30 March 2024].

Omrany, H., Al-Obaidi, K. M., Husain, A. and Ghaffarianhoseini, A. (2023), "Digital twins in the construction industry – A comprehensive review of current implementations, enabling technologies, and future directions", in *Sustainability*, vol. 15, issue 14, article 10908, pp. 1-26. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su151410908 [Accessed 30 March 2024].

Pan, Y., Zhu, M., Lv, Y., Yang, Y., Liang, Y., Yin, R., Yang, Y., Jia, X., Wang, X., Zeng, F., Huang, S., Hou, D., Xu, L., Yin, R. and Yuan, X. (2023), "Building energy simulation and its application for building performance optimization – A review of methods, tools, and case studies", in *Advances in Applied Energy*, vol. 10, article 100135, pp. 1-24. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.aaden.2023.100135 [Accessed 30 March 2024].

Piras, G., Agostinelli, S. and Muzi, F. (2024), "Digital

Twin Framework for Built Environment – A review of Key Enablers”, in *Energies*, vol. 17, issue 2, article 436, pp. 1-27. [Online] Available at: doi.org/10.3390/en17020436 [Accessed 10 February 2024]

Plienaitis, G., Daukšys, M., Demetriou, E., Ioannou, B., Fokaides, P. A. and Seduikyte, L. (2023), “Evaluation of the Smart Readiness Indicator for Educational Buildings”, in *Buildings*, vol. 13, issue 4, article 888, pp. 1-13. [Online] Available at: doi.org/10.3390/buildings13040888 [Accessed 30 March 2024].

Ravikumar, D., Keoleian, G. A., Walzberg, J., Heath, G. and Heller, M. C. (2024), “Advancing environmental assessment of the circular economy – Challenges and opportunities”, in *Resources, Conservation and Recycling Advances*, vol. 21, article 200203, pp. 1-14. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.rcradv.2024.200203 [Accessed 30 March 2024].

Rodrigo, M. N. N., Perera, S., Senaratne, S. and Jin, X. (2020), “Potential application of blockchain technology for embodied carbon estimating in construction supply chains”, in *Buildings*, vol. 10, issue 8, article 140, pp. 1-13. [Online] Available at: doi.org/10.3390/buildings10080140 [Accessed 30 March 2024].

Silva, B. V., Holm-Nielsen, J. B., Sadrizadeh, S., Teles, M. P. R., Kiani-Moghaddam, M. and Arabkoohsar, A. (2023), “Sustainable, green, or smart? Pathways for energy-efficient healthcare buildings”, in *Sustainable Cities and Society*, vol. 100, article 105013, pp. 1-16. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.scs.2023.105013 [Accessed 30 March 2024].

Sovacool, B. K. and Furszyfer Del Rio, D. D. (2020), “Smart home technologies in Europe – A critical review of concepts, benefits, risks and policies”, in *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 120, article 109663, pp. 1-44. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.rser.2019.109663 [Accessed 30 March 2024]

UN – General Assembly (2015), *Transforming our World – The 2030 Agenda for Sustainable Development*, document A/RES/70/1. [Online] Available at: sdgs.un.org/2030agenda [Accessed 30 March 2024].

UNEP – United Nations Environment Programme (2016), *2016 Annual Report – Empowering People to Protect the Planet*. [Online] Available at: wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/19529/UN%20Environment%202016%20Annual%20Report.pdf?sequence=1&isAllowed=y [Accessed 30 March 2024].

UNEP – United Nations Environment Programme and IEA – International Energy Agency (2017), *Towards a zero-emission, efficient, and resilient buildings and construction sector – Global Status Report*. [Online] Available at: globalabc.org/sites/default/files/2020-09/2017%20Global-ABC%20GSR%20.pdf [Accessed 30 March 2024].

UNI EN 15232-1:2017, *Energy performance of buildings – Part 1 – Impact of Building Automation, Controls and Building Management – Modules M10-4,5,6,7,8,9,10*. [Online] Available at: store.uni.com/en/uni-en-15232-1-2017 [Accessed 30 March 2024].

UNI EN ISO 52120-1:2022, *Energy performance of buildings – Contribution of building automation, controls and building management – Part 1 – General framework and procedures*. [Online] Available at: store.uni.com/en/uni-en-iso-52120-1-2022 [Accessed 30 March 2024].

Verbeke, S., Ma, Y., Van Tichelen, P., Bogaert, S., Waide, P., Uslar, M., Schulte, J., Bettgenhäuser, K., Ashok, J., Hermelink, A., Offermann, M. and Groezinger, J. (2018), *Support for Setting up a Smart Readiness Indicator for Buildings and Related Impact Assessment*, Second Progress Report – Study accomplished under the Authority of the European Commission DG Energy – 2017/SEB/R/1610684. [Online] Available at: beama.org.uk/static/93c20364-5056-4563-bda836993213f76a/Smart-Readiness-Indicator-Second-Progress-report.pdf [Accessed 30 March 2024].

Vigna, I., Perneti, R., Pernigotto, G. and Gasparella, A. (2020), “Analysis of the Building Smart Readiness Indicator Calculation – A comparative case-study with two Panels of Experts”, in *Energies*, vol. 13, issue 11, article 2796, pp. 1-18. [Online] Available at: doi.org/10.3390/en13112796

[Accessed 30 March 2024].

WEF – World Economic Forum (2016), *Shaping the Future of Construction – A Breakthrough in Mindset and Technology*. [Online] Available at: weforum.org/publications/shaping-the-future-of-construction-a-breakthrough-in-mindset-and-technology/ [Accessed 30 March 2024].

WHO – World Health Organization and IPCS – International Programme on Chemical Safety (2021), *WHO human health risk assessment toolkit – Chemical Hazards – Second edition*, IPCS harmonization project document, no. 8, Geneva. [Online] Available at: who.int/publications/i/item/9789240035720 [Accessed 30 March 2024].

Xu, S., Wang, J., Liu, Y. and Yu, F. (2023), “Application of emerging technologies to improve construction performance”, in *Buildings*, vol. 13, issue 5, article 1147, pp. 1-4. [Online] Available at: doi.org/10.3390/buildings13051147 [Accessed 30 March 2024].

Yan, K., Zhou, X. and Yang, B. (2023), “Editorial – AI and IoT applications of smart buildings and smart environment design, construction and maintenance”, in *Building and Environment*, vol. 229, article 109968, pp. 1-5. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109968 [Accessed 30 March 2024]

Yitmen, I., Alizadehsalehi, S., Akiner, I. and Akiner, M. E. (2021), “An adapted model of cognitive digital twins for building lifecycle Management”, in *Applied Sciences*, vol. 11, issue 9, article 4276, pp. 1-22. [Online] Available at: doi.org/10.3390/app11094276 [Accessed 30 March 2024].

Zangheri, P. and Castellazzi, L. (2016), “Towards Nearly Zero Energy Buildings in Europe – A Focus on Retrofit in Non-Residential Buildings”, in *Energies*, vol. 10, issue 1, article 117, pp. 1-15. [Online] Available at: doi.org/10.3390/en10010117 [Accessed 30 March 2024].

Zhao, N., Zhang, H., Yang, X., Yan, J. and You, F. (2023), “Emerging information and communication technologies for smart energy systems and renewable transition”, in *Advances in Applied Energy*, vol. 9, article 100125, pp. 1-12. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.adapen.2023.100125 [Accessed 30 March 2024].

ARTICLE INFO

Received	18 March 2024
Revised	10 April 2024
Accepted	20 April 2024
Published	30 June 2024

GEMELLO DIGITALE URBANO E MODELLAZIONE ENERGETICA

Esperienze e analisi di casi d'uso

URBAN DIGITAL TWIN AND ENERGY MODELING

Experiences and case study analyses

Danila Longo, Beatrice Turillazzi, Rossella Roversi, Stefano Lilla,
Carlo Alberto Nucci, Alessandro Piccinini, Andrea Costa

ABSTRACT

La transizione verso città sostenibili e digitali è una sfida complessa, con implicazioni cruciali per il benessere dei cittadini. In questo contesto il concetto di Gemello Digitale (GD) urbano emerge come una risorsa innovativa, seppure le metodologie di applicazione e le tecnologie siano ancora in fase iniziale. L'articolo pertanto esplora l'uso del GD urbano nell'ambito della transizione energetica, focalizzandosi sull'esperienza di Bologna, una città italiana impegnata nella neutralità climatica entro il 2030. La sperimentazione in casi studio specifici dimostra come il GD consenta l'analisi dei dati e la simulazione di scenari trasformativi per ottimizzare l'efficienza energetica e promuovere la decarbonizzazione, contribuendo alle sfide legate alla raccolta e integrazione dei dati, agevolando il superamento dei problemi di privacy e abilitando una governance multi-stakeholder.

The transition towards sustainable and digital cities is a complex challenge with crucial implications for citizen well-being. In this context, the concept of an Urban Digital Twin (UDT) emerges as an innovative resource, although the methodologies and technologies applied are still at an initial stage. This article explores the use of the UDT in the context of energy transition, focusing on the experience of Bologna, an Italian city committed to climate neutrality by 2030. Experimentation in specific case studies demonstrates how the UDT enables data analysis and scenario simulation to optimise energy efficiency and promote decarbonisation, facilitates data collection and integration, overcomes privacy issues, and enables multi-stakeholder governance.

KEYWORDS

gemello urbano digitale, transizione energetica, modellazione energetica, neutralità climatica, decarbonizzazione

urban digital twin, energy transition, energy modeling, climate neutrality, decarbonisation

Danila Longo, Architect and PhD, is a Full Professor of Technology for Architecture at the Department of Architecture, University of Bologna (Italy). E-mail: danila.longo@unibo.it

Beatrice Turillazzi, Architect and PhD, is an Associate Professor of Technology for Architecture at the University of Bologna (Italy). E-mail: beatrice.turillazzi@unibo.it

Rossella Roversi, Architect and PhD, is an Adjunct Lecturer and Research Fellow at the Department of Architecture, University of Bologna (Italy). E-mail: rossella.roversi@unibo.it

Stefano Lilla, Electrical Engineer and PhD, is a Researcher at the University of Bologna (Italy). E-mail: stefano.lilla3@unibo.it

Carlo Alberto Nucci, Electrical Engineer, is a Full Professor of Electrical Systems for Energy at the University of Bologna (Italy). E-mail: carloalberto.nucci@unibo.it

Andrea Costa, Construction Engineer and PhD, is a Certified Energy Manager. E-mail: andrea.costa@r2msolution.com

Alessandro Piccinini is an EPS PhD Candidate with a scholarship co-funded by R2M Solution SpA (Italy). E-mail: alessandro.piccinini@r2msolution.com



La doppia sfida della transizione energetica e digitale, per sua natura affidata alle città, non può esprimere tutto il suo potenziale senza mettere in gioco la sostenibilità di processi, progetti, soluzioni e azioni che essa implica, necessari a generare i benefici attesi per l'ecosistema urbano e per chi lo abita. In questo contesto il Gemello Digitale (GD) alla scala urbana si sta affermando come strumento chiave per affrontare la complessità implicita in tale sfida (Al-Sehrawy, Kumar and Watson, 2021; Ketzler et alii, 2020). Tuttavia, nonostante i GD urbani siano al centro del dibattito e della ricerca scientifica recente che ne evidenziano le potenzialità e i rapidi sviluppi, le tecnologie e il livello di maturità sono ancora allo stadio iniziale (Shahat, Hyun and Yeom, 2021; Attaran and Celik, 2023) e quindi è cruciale il ruolo che può svolgere la sperimentazione di metodologie e tecnologie innovative, l'applicazione sul campo e la condivisione di buone pratiche.

Molte città europee, come Helsinki (Hämäläinen, 2021), Zurigo, Amsterdam e Dublino (Caprari et alii, 2022) inquadrano lo sviluppo del proprio GD urbano mettendolo al centro delle politiche di transizione energetica, di rigenerazione urbana e ambientale e dei processi di democratizzazione e inclusione sociale. Lo sviluppo dei progetti più innovativi e recenti sui GD urbani si configura come un laboratorio in cui confluiscano soluzioni, infrastrutture e competenze interdisciplinari (Deren, Wenbo and Zhenfeng, 2021).

Nel contesto della transizione energetica il sistema elettrico, attraverso la trasformazione in smart-grid al servizio delle smart-city, ricopre un'importanza crescente, generando una spinta trasformativa che investirà la città in tutti i suoi aspetti, sia che essa si manifesti nella dimensione fisica della rete elettrica e dell'ambiente costruito, sia che si manifesti in quella immateriale degli attori del sistema, inclusi i cittadini (Gantoler et alii, 2024). Tale spinta consentirà di affrontare questioni cruciali e necessarie, come l'incremento dell'efficienza energetica dei quartieri, la produzione in loco di energia rinnovabile, la creazione di comunità energetiche e l'elettrificazione della mobilità, tutti elementi che mettono alla prova il sistema multidimensionale di gestione dell'energia e per i quali l'impiego di un GD consentirebbe un livello di conoscenza dei fenomeni che generano e della loro evoluzione senza precedenti.

La visione strategica che accompagna la creazione di un GD a scala urbana e la necessità al contempo di essere operativi e funzionali a bisogni e sfide che emergono e mutano rapidamente, portano molte città a testare l'innovazione di processo in casi d'uso concreti. Tra questi, quello dell'energia emerge come prioritario ma complesso per le problematiche in gioco come la raccolta dei dati da fonti eterogenee, l'interoperabilità e la possibilità del loro riutilizzo e, soprattutto, i temi di accesso, etica e privacy dell'uso stesso dei dati, tutti fattori che, pur in presenza della disponibilità potenziale delle informazioni necessarie ad alimentare il gemello energetico, ne limitano l'uso o vanno attentamente regolati (Ramaswami et alii, 2023).

Tra le città italiane che hanno intrapreso il percorso di sviluppo di un proprio GD c'è anche Bologna, selezionata dalla Missione dell'Unione Europea 100 Climate-neutral and Smart Cities by 2030¹ (Cities Mission) tra quelle che dovranno raggiungere l'obiettivo della neutralità climatica entro

il 2030. Bologna necessita quindi di soluzioni di decarbonizzazione particolarmente rapide ed efficaci, per le quali il supporto di una infrastruttura tecnologica come il GD, in grado di fornire modelli, previsioni e simulazioni, può giocare un ruolo centrale, consentendo ai decisori urbani di prevedere e attivare misure e politiche guidate dai dati. Bologna, inoltre, è una delle città italiane nelle quali i progetti H2020 GRETA² (GA 01022317) e +CityX-Change³ (GA 824260) hanno sperimentato un framework metodologico di modellazione energetica, abilitato da un prototipo semplificato ma incrementale di GD, che consente di generare analisi e simulazioni focalizzate sul tema energetico, ma calibrate sugli obiettivi più ampi della decarbonizzazione.

Il principale aspetto originale della ricerca descritta dal presente contributo è lo sviluppo e l'applicazione a casi studio reali di una metodologia che porta al conseguimento della stima energetica di edifici e distretti urbani, basandosi su una modellazione resa possibile anche in mancanza di progetti sviluppati con tecnologie BIM e senza utilizzare banche dati che forniscano informazioni dettagliate. Queste potrebbero infatti non essere disponibili per ragioni di conformità a normative o problemi di privacy, come ad esempio avviene per il Sistema Accreditamento Certificazione Energetica (SACE) dell'Emilia Romagna.

Pertanto l'obiettivo del paper è illustrare lo studio applicativo del suddetto framework di modellazione energetica, applicato a due aree della Città di Bologna, dimostrando l'utilità dell'uso pionieristico della tecnologia GD per la transizione energetica. L'applicazione specifica di software ha permesso la creazione di una sorta di GD semplificato e tematico delle aree urbane (dal singolo edificio al quartiere) che integra diversi tipi di dati per una modellazione energetica urbana completa in grado di supportare l'elaborazione di strategie di decarbonizzazione dedicate anche ai centri storici, tenendo conto delle loro specificità e vincoli.

Il paper è strutturato come segue: il primo paragrafo traccia il background e lo stato dell'arte del GD, a partire dalla sua applicazione alla smart-grid e alla smart city e infine come ambiente predittivo e simulativo; il secondo paragrafo mette in evidenza le sfide e le problematiche ancora aperte, cui la metodologia illustrata nel terzo paragrafo contribuisce a far fronte e che viene ivi spiegata tramite la sua applicazione a casi studio concreti; il quarto paragrafo evidenzia le complementarità e le ulteriori potenzialità della metodologia mentre il quinto traccia le conclusioni.

Il Gemello Digitale urbano come evoluzione della smart-city

Il GD per una città si inserisce, come accennato, nel contesto dell'integrazione delle smart-grid nelle smart-city (Deren, Wenbo and Zhenfeng, 2021). Le smart-grid, grazie all'utilizzo di metodi di ottimizzazione matematica tipici dei sistemi energetici, a partire dal sistema elettrico, permettono una distribuzione più efficiente e affidabile dell'energia, in particolare nel contesto di sempre maggiore ricorso alle energie rinnovabili anche nelle aree urbane (Betis, Cassandras and Nucci, 2018). Lo sviluppo delle smart-city richiede un approccio che non può che essere multidisciplinare (Matera et alii, 2018): il GD estende e integra la logica applicata ai sistemi energetici e ai sistemi di gestione e utilizzo dei dati, muovendo

ben oltre la semplice digitalizzazione delle infrastrutture.

Il GD della città offre un quadro olistico e interconnesso di ogni aspetto della vita urbana prevedendo un approccio completamente integrato tra i vari attori della società, trasformando radicalmente la concezione, la pianificazione (Moghadam et alii, 2017) e, di conseguenza, la gestione delle aree urbane: esso permette infatti di modellare l'intero ecosistema urbano a partire dalla rete energetica, includendo i trasporti, le infrastrutture e i servizi pubblici e può essere uno strumento per prevedere i comportamenti dei cittadini (Annaswamy et alii, 2018). Al fulcro di questa trasformazione c'è la convergenza di tecnologie avanzate, come l'Intelligenza Artificiale (Doria, 2022), l'Internet of Things (Hammi et alii, 2018), la Realtà Aumentata (Shawash and Marji, 2020) e la modellazione 3D (Dejaco et alii, 2022).

L'efficienza energetica di parti della città è uno dei principali obiettivi delle smart-city e rappresenta un ambito chiave di applicazione per il GD (Bortolini et alii, 2022). Attraverso la simulazione e l'ottimizzazione dei flussi energetici a livello urbano (anche in tempo reale) è possibile identificare opportunità per ridurre il consumo, migliorare l'integrazione delle fonti rinnovabili e ottimizzare l'uso delle risorse (Zhang et alii, 2019). Un'area cruciale di intervento è l'infrastrutturazione della rete elettrica a servizio delle aree urbane e l'elettrificazione della mobilità (Kirpes et alii, 2019); tuttavia per massimizzare i benefici dell'elettrificazione è necessaria una transizione con un approccio olistico alla pianificazione urbana. Riguardo alla costituzione di comunità energetiche il GD può fornire la risposta alla duplice domanda in quali siti della città (aree convenzionali sottese alle varie cabine primarie) istituire una comunità energetica e da quale aggregato ottimale in termini di generazione elettrica e di carichi dei vari prosumer debba essere composta (Prevedi et alii, 2023; Nguyen-Huu et alii, 2022).

Uno degli aspetti più innovativi dei GD urbani è la loro capacità di anticipare e mitigare problemi attraverso la simulazione e la previsione, offrendo una panoramica completa e dinamica dell'ambiente urbano, consentendo di prendere decisioni più informate e interventi mirati per migliorare l'efficienza energetica (Ali et alii, 2024), di pianificare la costituzione di comunità energetiche rinnovabili nei siti più opportuni, di promuovere la mobilità sostenibile e di garantire la qualità della vita dei cittadini.

Come accennato, in molte città sono in corso sperimentazioni e casi studio. A Zurigo il GD si concentra soprattutto sulla pianificazione urbana, prendendo in esame anche il Piano energetico attraverso l'analisi delle potenzialità del solare e l'analisi delle ombre e dei flussi d'aria (Schrotter and Hürzeler, 2020). Il GD di Helsinki (Hämäläinen, 2021) rappresenta un caso studio avanzato, in cui il modello completo di città 3D è implementato on-line e fornisce per ogni edificio i dati energetici provenienti dai registri cittadini, uno strumento di confronto dei consumi tra edifici della stessa epoca, l'energia solare ricevuta dalle superfici, l'energia proveniente dai pozzi geotermici, la simulazione del consumo energetico e delle emissioni di CO₂ della città intera e la stima di potenziali miglioramenti dell'efficienza energetica considerando riqualificazioni adeguate.

Sono interessanti anche i casi studio di alcuni

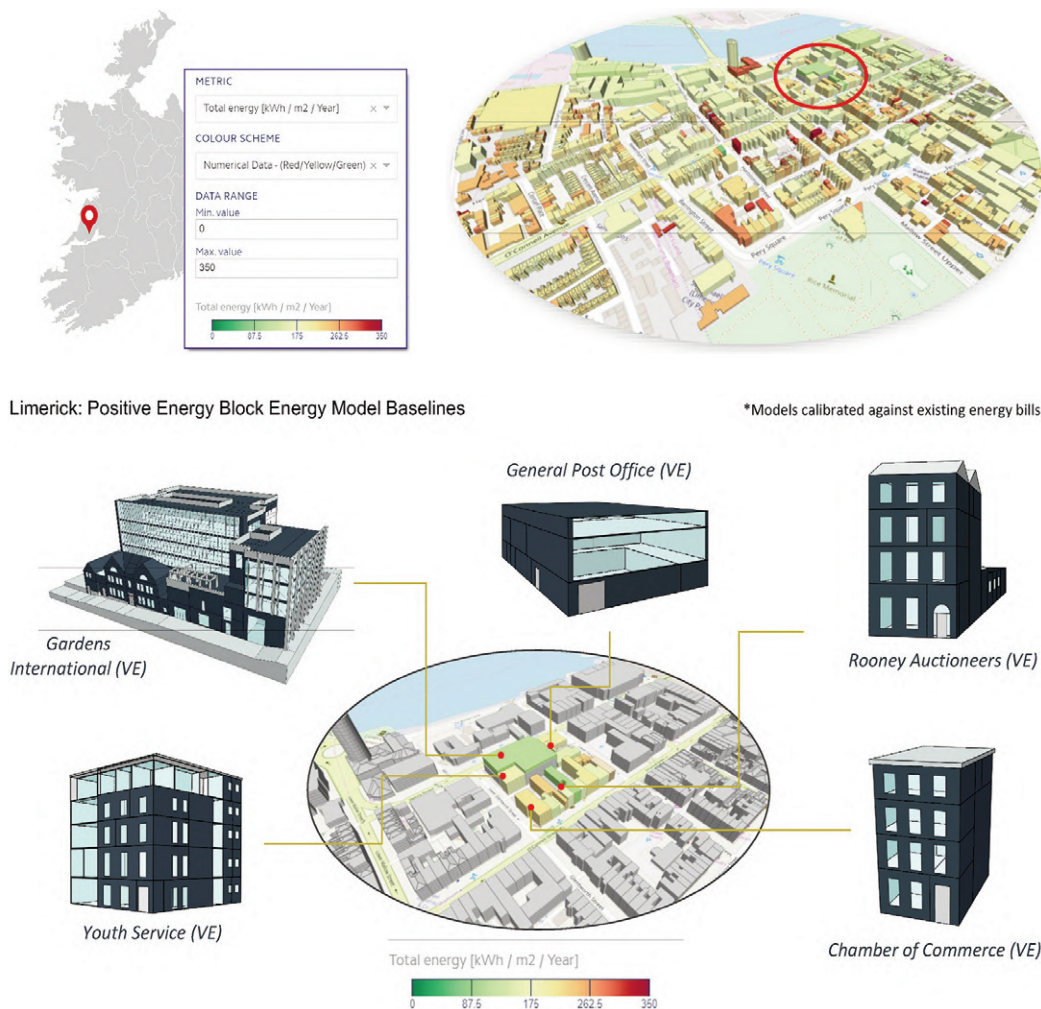


Fig. 1, 2 | Energy demand baseline: application of the Positive Energy Block methodology to Limerick city and the buildings involved in the trial (source: r2msolution.com; +CityxChange project).

Campus universitari, come quelli di West Cambridge (Qiuchen Lu et alii, 2019) e di Dublino, che presentano tuttavia una notevole semplificazione a causa del ridotto numero di edifici e di soggetti coinvolti; anche Torino rappresenta un caso studio pilota ristretto a singoli comparti o distretti della città (Anselmo et alii, 2023) in cui i consumi termici degli edifici sono dedotti dai dati termografici.

Dall'esame dei casi studio sull'uso del GD ai fini dell'indagine e simulazione energetica emerge la centralità del tema della disponibilità dei dati, statici e dinamici, che spesso non sono della quantità, qualità o accessibilità necessarie a poter sviluppare anche un modello approssimato. Molti degli esempi citati sono accomunati dall'utilizzo di piattaforme per la stima delle potenzialità di produzione di energia dal sole e del fabbisogno di energia degli edifici, tramite le quali, con metodi stocastici e con l'utilizzo di machine learning, estendono i dati ricavati da specifici casi studio di limitata estensione, e quindi più facilmente indagabili, al resto dell'ambiente urbano. La metodologia di seguito descritta riveste considerevole interesse perché rappresenta una strada per superare, in maniera flessibile e affinabile, la problematica essenziale della natura e reperibilità dei dati, soprattutto energetici, funzionali a un GD alla scala urbana.

Problematiche e progettualità | La strutturazione della sperimentazione del GD nell'ambito ener-

gia ha solitamente inizio con la raccolta dei dati, assai eterogenei per origine, formato, granularità e dimensione. L'integrazione di tali dati – provenienti ad esempio dal catasto, modelli 3D, consumi di energia elettrica e gas, produzione di energia da fonti rinnovabili e Attestati di Prestazione Energetica degli edifici – richiede metodologie specifiche e presuppone il superamento di una serie di criticità, prima fra tutte la raccolta e il riutilizzo dei dati (molti dei quali di proprietà privata) che sollevano importanti questioni di rispetto della normativa sulla privacy e dell'etica.

Inoltre, una volta incorporato il set di dati iniziali, questi necessitano di essere periodicamente aggiornati e integrati in modelli matematici che forniscano indicatori sintetici sull'evoluzione degli aspetti indagati. Infine la presenza nelle città europee (soprattutto in Italia) di centri storici con edifici tutelati impone alcune limitazioni agli interventi di ammodernamento ed efficientamento, quali l'applicazione di coibentazioni o l'installazione di pannelli fotovoltaici. In questo contesto, qualora venga verificata la sostanziale impossibilità di raggiungere gli obiettivi di efficientamento prefissati, il GD dovrà contribuire a definire interventi compensativi in altre zone della città.

L'obiettivo della metodologia di seguito illustrata conduce alla sperimentazione di tecnologie digitali e processi in grado di analizzare la risposta energetica dell'ambiente urbano, in primis della sua componente costruita, per poi effettuare simu-

lazioni di scenari di trasformazione che consentano di prefigurare interventi di efficientamento e altri più ampi di riqualificazione. La metodologia è estremamente significativa poiché consente di supportare la creazione di GD energetici semplificati, specificatamente calibrati sulle necessità dell'indagine alla scala urbana.

R2M Solution⁴ è stato partner tecnologico del progetto H2020 +CityxChange (parte del programma 'Smart Cities and Communities') nell'ambito del quale ha verificato la scalabilità dell'uso dei software e della metodologia adottati nel caso dello studio dei Positive Energy Blocks (Fig. 1, 2). R2M Solution ha esteso a 5 città italiane, tra cui Bologna, la sperimentazione effettuata in +CityxChange su due città lighthouse, Limerick in Irlanda e Trondheim in Norvegia. Le sperimentazioni nelle 5 città italiane hanno prodotto la progettazione di scenari di decarbonizzazione e gestione dell'energia che dalla scala dell'isolato, o gruppo di edifici, può essere applicata alla scala di distretto, e quindi rappresentare una valida metodologia per quelle città che devono accelerare il loro percorso di transizione energetica per raggiungere gli obiettivi ambiziosi entro il 2030.

Le 100 città selezionate dalla Cities Mission necessitano infatti di strumenti e infrastrutture digitali che abilitino procedure rapide e siano in grado di sfruttare al meglio la quantità di dati già oggi nelle loro disponibilità, senza precludere la possibilità di integrare successivamente ulteriori quantità e tipologie di informazioni, la cui raccolta e gestione può essere via via abilitata, anche grazie all'applicazione di procedure FAIR⁵. Tali procedure, che comportano la collaborazione e lo scambio tra attori pubblici, cittadini e operatori del mercato dell'energia, richiede infatti tempi dilatati, che possono non essere compatibili con le esigenze della tabella di marcia della decarbonizzazione e che possono rallentare lo sviluppo dei GD urbani ad essa funzionali (Apanavičienė and Shahrabani, 2023).

Casi studio: metodologia, analisi dei dati e risultati | Per testare la metodologia sviluppata in +CityxChange sono state selezionate alcune città italiane, diverse per dimensioni, politiche ed esperienze legate ai processi di transizione, e in particolare Bologna, Milano, Roma, Udine e Crispiano in Provincia di Taranto (Fig. 3), coinvolte anche nell'iniziativa complementare Scalable Cities, volta a testarne la replicabilità e ad espandere la scala delle esperienze in altri contesti. Attraverso l'uso di un ecosistema di software facenti capo a IES Intelligent Communities Lifecycle (ICL)⁶ è stato creato un modello energetico dinamico in grado di riflettere le prestazioni del contesto in esame, ma anche di prevedere, con elevato livello di dettaglio, il consumo energetico degli edifici, le emissioni di CO₂, i picchi di domanda energetica, i costi energetici e la produzione di energia rinnovabile.

L'approccio è stato progressivo e ha seguito un percorso incrementale: partendo da interventi mirati alla riduzione del consumo energetico degli edifici attraverso l'implementazione di misure passive sull'involucro si è poi passati all'ottimizzazione degli impianti; infine ci si è concentrati sulla produzione di energia rinnovabile distribuita localmente e sull'implementazione di sistemi di scambio energetico in chiave Comunità Energetica Rinnovabile.

Nel caso di Bologna sono state prese in esame due aree molto diverse per localizzazione, morfologia, tipologia di edifici, abitanti, realtà socio-economiche, funzioni: il distretto Pilastro-Roveri, situato a Nord Est della città, caratterizzato dal villaggio residenziale del Pilastro e dalla zona produttiva Roveri, con forte presenza di attività produttive e artigianali; l'area del Pratello / Sant'Isaia, situata nel Centro storico della città. Il distretto Pilastro-Roveri è stato anche uno dei casi studio del Progetto GECO⁷, finanziato dall'European Institute of Innovation & Technology, orientato ad agevolare il percorso di realizzazione di una comunità energetica, e del progetto H2020 GRETA, che mirava al miglioramento della conoscenza delle condizioni e delle barriere all'emergere di forme di partecipazione attiva dei cittadini all'interno del sistema energetico, a sostegno degli obiettivi di decarbonizzazione locale e globale. Entrambi i gruppi di ricerca del Dipartimento di Architettura e del Dipartimento di Ingegneria dell'Energia Elettrica e dell'Informazione Guglielmo Marconi dell'Università di Bologna erano anche partner dei due suddetti progetti.

Nell'ambito del progetto GRETA sono stati testati modelli per definire la domanda energetica attuale di quattro casi di studio, tra cui Bologna, sviluppati nell'ambiente di Enerkad GIS⁸. Per generare il modello energetico sono state utilizzate le informazioni del catasto urbano e gli anni di costruzione sono stati stabiliti attraverso stime e per aree omogenee. Il numero e la potenza installata di pannelli fotovoltaici sono stati ricavati dagli Open Data del Comune di Bologna. I risultati della modellazione di GRETA sono stati recepiti e incorporati nel modello energetico realizzato da R2M nella nuova ricerca.

È importante sottolineare che la validità e l'estremo interesse di questa metodologia multiscale di analisi e simulazione risiede nella capacità di fornire risultati di interesse, sufficienti a orientare strategie di retrofitting, efficientamento e decarbonizzazione, anche in assenza di dati e informazioni di dettaglio. Per creare un modello bastano i dati prioritari obbligatori, come la geometria semplificata degli edifici, la loro destinazione d'uso, i dati climatici (Tab. 1). Nel caso di Bologna Pilastro sono stati inclusi i dati con priorità alta e medio-alta; la possibilità di raffinarli in output è comunque garantita dalla opzione di incamerare dati più specifici, a priorità media e medio-bassa, se disponibili.

Il modello geometrico tridimensionale è stato generato tramite il software iCD (uno dei tools di IES ICL), un plug-in di Sketchup, sulla base GIS di OpenStreetMap, database geografico libero e modificabile (Figg. 4, 5). In base all'anno di costruzione, al numero dei piani degli edifici (cui si associano le stratigrafie degli involucri e le tipologie di impianto di condizionamento estivo e invernale), alle caratteristiche formali, al tipo d'uso (residenziale, scolastico, direzionale, etc.) e all'esposizione è stato possibile ricavare il consumo energetico dei singoli edifici e dell'intera area presa in esame (Fig. 6).

Fig. 3 | The five Italian cities involved in the Scalable Cities initiative (source: r2msolution.com; +CityxChange project).

Tab. 1 | Model input data: each coefficient is categorised according to 1) priority, 2) ease of finding the information and 3) the possible origin of the data (credit: the Authors, 2024).

Si è generata quindi la baseline pre-intervento, espressa in kWh/mq per anno, e poi si è proceduto a simulare gli scenari di intervento che possono includere misure passive (come l'incremento della trasmittanza dell'involucro opaco attraverso l'introduzione di un cappotto o la sostituzione degli infissi) e/o attive (come la sostituzione del generatore di calore); è altresì possibile simulare i benefici derivanti dall'introduzione di pannelli fotovoltaici sulle coperture, valutando le opportunità di installazione e rendimento in base all'inclinazione e all'esposizione dei tetti (Figg. 7, 8). Rapidamente vengono così generati scenari di intervento alternativi, consentendo una valutazione

comparativa per determinare quale soluzione sia più idonea a raggiungere gli obiettivi desiderati, tenendo conto anche dei vincoli imposti dalle caratteristiche specifiche del luogo.

Per l'introduzione di cappotti, pannelli fotovoltaici in copertura o altri interventi di efficientamento in contesti in cui siano presenti vincoli storico-artistici è necessario avere una conoscenza più approfondita dei singoli edifici interessati, in modo da escluderli dagli interventi ipotizzati o procedere a una progettazione più puntuale. Nel caso della simulazione di efficientamento dell'involucro prevista nel Centro storico di Bologna, per edifici non vincolati è stato previsto un cappotto interno. Le

Bologna	Milano	Udine	Crispiano	Roma
Area: 140,86 km ² Inhabitants: 388 171	Area: 181,67 km ² Inhabitants: 1 361 908	Area: 57,17 km ² Inhabitants: 97 841	Area: ~ 111 km ² Inhabitants: 13 770	Area: 1 287,36 km ² Inhabitants: 2 746 639
Buildings: 1080 Area: 7 750 218 m ² Inhabitants: ~ 23 000	Buildings: 31 Area: 50 132 m ² Inhabitants: 97 841	Buildings: 10 (2 Schools, 1 Shopping mall, 7 Apartment blocks) Area: 134 400 m ² Inhabitants: ~1000 (405 Apartments)	Buildings: 7 (1 municipal building, 1 library, 2 schools, 2 offices, 1 sport center) Area: ~ 16 000 m ² Occupancy: ~750 people/day	Buildings: 155 Area: ~ 660 696 m ² Inhabitants: ~7610
- geoJSON file containing: - Number of floors - Year of construction - Building Type - Installed PV Capacity	iCD model with this information: - Building Type - Year of construction - Envelope description & U _{value} - HVAC & DHW system	- Building's plans and sections - Technical reports of the interventions - Buildings' Energy Performance Certificates	Building plans, survey reports, and energy requalification projects holding: - Building geometry - Envelope description - Building type, Construction year	- GIS file containing: - Building Type - Number of floors - Roof Type - Potential roof area for PV

Main Parameters DT	Parameter Priority	Availability	Data Source
Type of Building	1 - Mandatory	High	GIS, Google Earth
Type of Generation	1 - Mandatory	Medium	GIS, Diagnosis Database
Simplified Geometry	1 - Mandatory	High	GIS, OSM
Climate File	1 - Mandatory	High	GIS, Google Earth
Glazed Surface Ratio	2 - High	Medium / High	GIS, Google Earth
Opaque Envelope Transmittances	3 - Medium / High	Medium	GIS, APE, Database Diagnosis
Glazed Envelope Transmittances	3 - Medium / High	Medium	GIS, APE, Database Diagnosis
Emission Type	3 - Medium / High	Medium	GIS, Database Diagnosis
Plant Operating Hours	4 - Medium	Medium / Low	GIS, Database Diagnosis
Roof Type	4 - Medium	High	GIS, Google Earth
Heating Setpoint	4 - Medium	Medium	GIS, Database Diagnosis
Lighting Load	4 - Medium	Medium	GIS, Ashrae 90.1 database and diagnosis
Load Power	5 - Medium	Low	GIS, Ashrae 90.1 database and diagnosis
DHW Plant Type	5 - Average	Medium	GIS, Database Diagnosis
DHW Distribution Efficiency	5 - Medium / Low	Low	GIS, Database Diagnosis
Ventilation Type	5 - Medium / Low	Low	GIS, Database Diagnosis
Air infiltration	5 - Medium / Low	Low	GIS, Database Diagnosis
Occupancy	5 - Medium / Low	Low	GIS, Ashrae Database 90.1 and Diagnosis
Internal Load Profiles	5 - Medium / Low	Low	GIS, Database Ashrae 90.1 and Diagnosis

simulazioni energetiche riguardanti lo stato attuale e gli scenari di intervento con soluzioni attive e passive rivelano un notevole potenziale di miglioramento dell'efficienza energetica e di mitigazione delle emissioni di gas serra (Figg. 9, 10).

Ai fini di esplicitare i vari passaggi e favorire la replicabilità della metodologia proposta si veda il diagramma di flusso in Figura 11, che esplicita in maniera sintetica il processo di creazione del GD.

Soluzioni complementari e ulteriori potenzialità | Le sperimentazioni nelle aree Pilastrò / Roveri e nel Centro storico di Bologna hanno generato un modello tematico, semplificato ma dettagliabile a seconda della disponibilità dei dati in ingresso,

applicabile al singolo edificio, a un quartiere e potenzialmente espandibile all'intera città. Ciò dimostra come un GD urbano possa supportare esperti, tecnici e decisori nella pianificazione, valutazione e gestione delle prestazioni della città, o di una sua porzione, avvalendosi di modelli di analisi e simulazione a livelli incrementali di approfondimento e complessità, in base allo stato di sviluppo dell'infrastruttura stessa del GD e della disponibilità di dati che lo alimentano.

La ricerca presentata intende compiere ulteriori passi avanti, interpretando i GD come infrastrutture a supporto della multidisciplinarietà e trasversalità degli ambiti coinvolti nei processi di decarbonizzazione delle città: molti GD europei, tra

cui quello di Bologna, intendono non solo essere strumenti abilitanti per politiche urbane basate sui dati, ma anche piattaforme che mettono in connessione vari attori urbani (Ketzler et alii, 2020).

Per affrontare questa sfida la metodologia illustrata ha implementato con successo la condivisione dei risultati di analisi e simulazioni attraverso una versione pilota di database centrale, estendibile a scala cittadina. Attraverso il software iCIM⁹, è stata creata una piattaforma di monitoraggio e gestione delle risorse accessibile e condivisa. Questa piattaforma consente di visualizzare le metriche di sostenibilità in maniera chiara e comprensibile, anche ai non addetti ai lavori, e di coinvolgere gli attori nel confronto tra scenari alternativi (Fig. 12); inoltre offre la possibilità di gestire parzialmente i dati attraverso filtri, interrogazioni e strumenti di analisi delle tendenze, consentendo di ottenere insights utili per prendere decisioni informate.

Un altro sviluppo molto promettente della metodologia è la possibilità di fornire supporto alla creazione delle Comunità Energetiche Rinnovabili e valutare diversi scenari mediante uno studio strategico che, attraverso la modellazione dinamica degli edifici, la simulazione delle reti di teleriscaldamento, teleraffrescamento e smart grid elettrica, consente di valutare l'eventuale potenziamento dello stoccaggio energetico, l'impatto della generazione locale e del miglioramento dell'efficienza energetica degli edifici sulle reti elettriche.

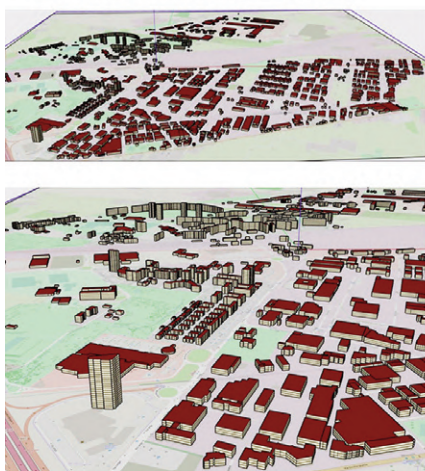
L'esito ultimo del complesso delle simulazioni fin qui descritte è la possibilità di prefigurare una 'decarbonization roadmap', che aiuti le città a programmare l'attuazione delle misure previste in base agli obiettivi prefissati, da scandire secondo intervalli temporali pianificabili, tenendo anche conto della presenza o meno di incentivi economici e valutando anche i piani di ritorno degli investimenti (Figg. 13, 14).

Conclusioni e futuri sviluppi | L'intelligenza artificiale, insieme ai registri digitali e ai GD, sta rivoluzionando i processi di rigenerazione urbana. Gli strumenti per analizzare e simulare la città nella sua totalità si dimostrano sempre più necessari per gestire il consumo energetico delle aree urbanizzate in modo sostenibile e studiare misure di compensazione per un equilibrio generale e in vista degli obiettivi di neutralità climatica, cui anche la Città di Bologna ambisce (He et alii, 2020).

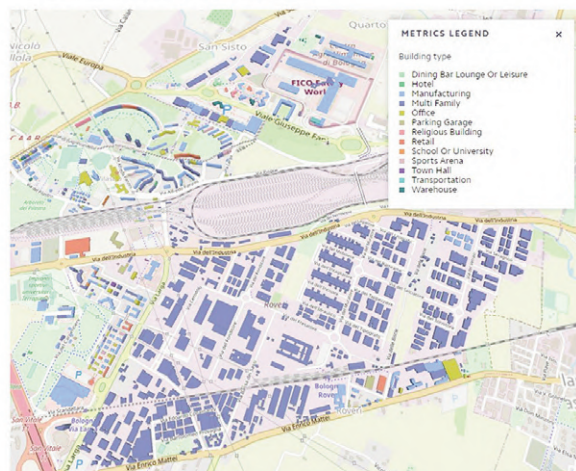
Ad oggi si rilevano alcune barriere allo sviluppo dei GD urbani in ambito energetico, prima fra tutte la complessità nella raccolta dei dati provenienti da diverse fonti e sistemi, nonché la loro integrazione e gestione. A ciò si aggiungono gli elevati costi di implementazione dovuti a investimenti significativi in infrastrutture tecnologiche (ad esempio sensori e sviluppo software per la acquisizione e gestione dei dati relativi), la difficoltà di normalizzazione dei dati e di interoperabilità tra sistemi, dovuta alla mancanza di standard universalmente accettati, il che limita la scalabilità delle soluzioni, e infine la sicurezza dei dati raccolti e analizzati in grandi quantità, in particolare di quelli sensibili (Le Dréau et alii, 2023). Il paper ha illustrato un approccio innovativo alla gestione dell'energia urbana utilizzando la tecnologia del GD, orientata al superamento delle barriere sopra esposte ed esemplificata in alcuni casi d'uso concreti.

L'interdisciplinarietà del lavoro presentato inco-

Model set up from iCD plugin in Sketchup:



Visualization from iCIM webpage:



Model set up from iCD plugin in Sketchup:



Visualization from iCIM webpage:

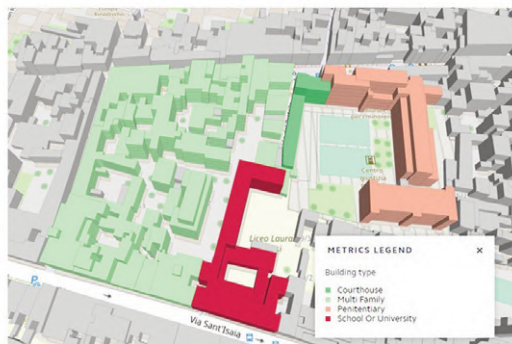


Fig. 4 | Pilastrò / Roveri district, Bologna: 3D model made with iCD; attribution to the buildings of the prevailing uses and building type, which contribute to estimating the energy consumption baseline (source: projectgreta.eu; r2msolution.com).

Fig. 5 | Prateello / Sant'Isaia area, historical city centre of Bologna: 3D model made using iCD, a Sketchup plugin; Attribution to the buildings of the prevailing uses and building type, which contribute to estimating the energy consumption baseline (source: r2msolution.com).

Fig. 6 | The City of Bologna, Pilastrò / Roveri district case study: analysis of buildings' thermal and electrical energy demand (source: projectgreta.eu).

raggia le collaborazioni e le innovazioni trasversali, influenzando la pianificazione e la politica urbana a livello internazionale, rendendola altamente rilevante per le decisioni informate nei contesti urbani e nella sostenibilità. La ricerca deve continuare esplorando ulteriori casi d'uso, ampliando anche lo spettro degli ambiti di applicazione ad altri settori, come la mobilità sostenibile. Un altro passo avanti da compiere è costituito dalla validazione delle simulazioni attraverso la comparazione degli esiti con dati reali, in modo da poter meglio comprendere l'affidabilità della metodologia e procedere a eventuali calibrazioni.

Il ricorso ai GD come strumenti a supporto delle politiche urbane può portare a una maggiore efficienza nell'uso delle risorse e a una migliore qualità della vita per i cittadini, tuttavia il loro processo di integrazione negli strumenti esistenti e nelle politiche urbane richiederà un ulteriore sforzo collaborativo tra ricercatori, decisori urbani e società civile: da qui la necessità di aprire le indagini – oggi prevalentemente dedicate ad affrontare tematiche tecniche e tecnologiche – a modalità di 'ricerca contributiva' che ricorrano ad ambienti collaborativi al contempo sociali, digitali e fisici, che funzionino come centri di sperimentazione di nuovi assetti di governance, progettualità, pianificazione, gestione e coinvolgimento dei cittadini.



Fig. 7 | Pilastro / Roveri district, Bologna: Simulation model of the district's energy consumption; Simulation of the potential for electricity production from the installation of photovoltaic panels (source: projectgreta.eu; r2msolution.com).

Fig. 8 | Pratello / Sant'Isaia area, historic city centre of Bologna: Simulation model of the district's energy consumption; Simulation of transformation scenario 1, using only passive measures (source: r2msolution.com).

The dual challenge of energy and digital transition, inherently reliant on cities, cannot fully realise its potential without engaging the sustainability of processes, projects, solutions, and actions that it entails, necessary to generate the expected benefits for the urban ecosystem and its inhabitants. In this context, the Digital Twin (DT) at the urban scale is establishing itself as a key tool to address the complexity inherent in this challenge (Al-Sehrawy, Kumar and Watson, 2021; Ketzler et alii, 2020). However, despite urban DTs being at the heart of recent scientific debate and research highlighting their potential and rapid developments, technologies and maturity levels are still at an early stage (Shahat, Hyun and Yeom, 2021; Attaran and Celik, 2023), thus underscoring the crucial role that experimenting with innovative methodologies and technologies, on-the-ground application, and the sharing of best practices can play. Many European cities, such as Helsinki (Hämäläinen, 2021), Zurich, Amsterdam, and Dublin (Caprari et alii, 2022) frame the development of their own UDT by placing it at the centre of energy transition policies, urban and environmental regeneration, and processes of democratisation and social inclusion. The development of the most innovative and recent projects on UDTs configures as a laboratory where solutions, infrastructure, and interdisciplinary skills converge (Deren, Wenbo and Zhenfeng, 2021).

In the context of the energy transition, the electrical system, through transformation into smart grids serving smart cities, is gaining increasing importance, generating a transformative push that will invest the city in all its aspects, whether manifesting in the physical dimension of the electrical grid and the built environment or in the intangible dimension of system actors, including citizens (Gantioler et alii, 2024). This drive will allow addressing crucial and necessary issues such as the increase in energy efficiency of neighbourhoods, on-site production of

renewable energy, the creation of energy communities, and the electrification of mobility, all elements that challenge the multidimensional energy management system and for which the use of a DT would allow an unprecedented level of knowledge of the phenomena generating them and their evolution.

The strategic vision that accompanies the creation of a DT at the urban scale and the simultaneous need to be operational and functional to emerging and rapidly changing needs and challenges lead many cities to test process innovation in concrete use cases. Among these, the energy sector emerges as a priority yet complex due to the issues at stake, such as data collection from heterogeneous sources, interoperability, and the possibility of their reuse, and above all, the themes of access, ethics, and privacy of data use, all factors that, despite the potential availability of the necessary information to feed the energy twin, limit its use or must be carefully regulated (Ramaswami et alii, 2023).

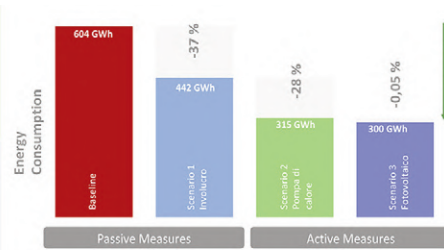
Among the Italian cities that have undertaken the development of their own DT is Bologna, selected by the European Union Mission 100 Climate-neutral and Smart Cities by 2030 (Cities Mission) among those that must achieve the goal of climate neutrality by 2030¹. Bologna, therefore, requires particularly rapid and effective decarbonisation solutions, for which the support of a technological infrastructure such as the DT, capable of providing models, predictions, and simulations, can play a central role, allowing urban decision-makers to anticipate and activate data-driven mea-

asures and policies. Bologna is also one of the Italian cities where the H2020 GRETA² (GA 01022317) and +CityxChange³ (GA 824260) projects have tested a methodological framework of energy modeling enabled by a simplified but incremental DT prototype, allowing for the generation of analyses and simulations focused on the energy theme but calibrated on broader decarbonisation goals.

The main original aspect of the research described by this contribution is the development and application to real case studies of a methodology that leads to the energy estimation of buildings and urban districts based on modeling made possible even in the absence of projects developed with BIM technologies and without using databases that provide detailed information. These might indeed not be available for reasons of compliance with regulations or privacy issues, such as those occurring for the Energy Certification Accreditation System (SACE) of Emilia-Romagna (Italy).

Therefore, this paper aims to illustrate the applied study of the aforementioned energy modeling framework applied to two areas of the City of Bologna, demonstrating the usefulness of the pioneering use of DT technology for energy transition. The specific application of software has allowed the creation of a simplified and thematic DT of urban areas (from the single building to the neighbourhood) that integrates various types of data for comprehensive urban energy modeling capable of supporting the development of decarbonisation strategies also dedicated to historic centres, taking into account their specificities and constraints.

<p>BASELINE – Pre intervention</p> <ul style="list-style-type: none"> External wall $U_{value} = 2.2 + 1.95 \text{ W/m}^2\text{K}$ Windows: $U = 3.17 + 2.64 \text{ W/m}^2\text{K}$ Un-insulated Ground Floors: $U = 0.71 \text{ W/m}^2\text{K}$ Un-insulated Roofs: $U = 1.56 \text{ W/m}^2\text{K}$ <p>Heating/DHW systems: Old/Modern natural gas Boilers</p>	<p>PASSIVE MEASURES</p> <p>Scenario 1:</p> <ul style="list-style-type: none"> Ext Wall: $0.23 \text{ W/m}^2\text{K}$ GroundFloor: $0.29 \text{ W/m}^2\text{K}$ Roof: $0.24 \text{ W/m}^2\text{K}$ Windows $U = 1.30 \text{ W/m}^2\text{K}$ <p>ACTIVE MEASURES</p> <p>Scenario 2: Substitution of heating system to Air source HP with COP=4 in all buildings</p> <p>Scenario 3: Addition of PV panels on building's rooftops</p>
---	--



<p>BASELINE – Pre intervention</p> <ul style="list-style-type: none"> External wall $U_{value} = 2.2 + 1.95 \text{ W/m}^2\text{K}$ Windows: $U = 3.17 + 2.64 \text{ W/m}^2\text{K}$ Un-insulated Ground Floors: $U = 0.71 \text{ W/m}^2\text{K}$ Un-insulated Roofs: $U = 1.56 \text{ W/m}^2\text{K}$ <p>Heating/DHW systems: Old/Modern natural gas Boilers</p>	<p>PASSIVE MEASURES</p> <p>Scenario 1:</p> <ul style="list-style-type: none"> Ext Wall: $0.23 \text{ W/m}^2\text{K}$ GroundFloor: $0.29 \text{ W/m}^2\text{K}$ Roof: $0.24 \text{ W/m}^2\text{K}$ Windows $U = 1.30 \text{ W/m}^2\text{K}$ <p>ACTIVE MEASURES</p> <p>Scenario 2: Substitution of heating system to Air source HP with COP=4 in all buildings</p> <p>Scenario 3: Addition of PV panels on building's rooftops</p>
---	--

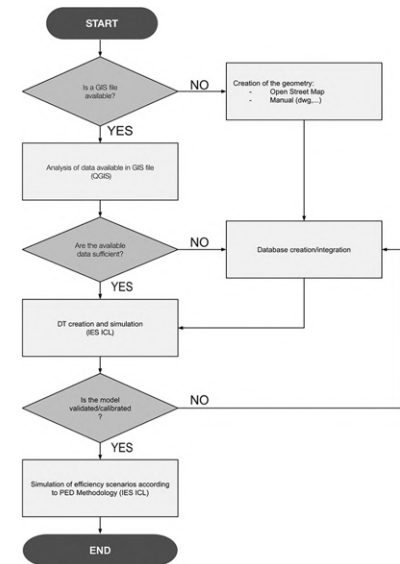
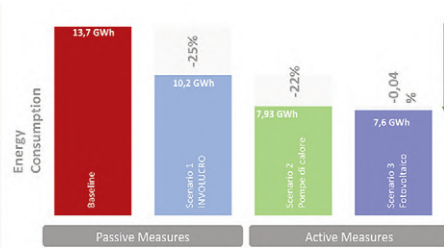


Fig. 9 | Pilastrò / Roveri district, Bologna: The results of energy simulations concerning the actual state and the application of efficiency enhancement scenarios through passive and active measures; Comparison of the three incremental transformation scenarios (source: r2msolution.com).

Fig. 10 | Zona Pratello / Sant'Isaia, historic city centre of Bologna: The results of energy simulations concerning the actual state and the application of efficiency enhancement scenarios through passive and active measures; Comparison of the results of the three incremental transformation scenarios (source: r2msolution.com).

Fig. 11 | Flow chart summarising the various steps of the energy simulation methodology (source: r2msolution.com).

The paper is structured as follows: the first paragraph traces the background and the state of the art of the DT, starting from its application to the smart grid and the smart city and finally as a predictive and simulative environment; the second paragraph highlights the challenges and open issues to which the methodology illustrated in the third paragraph contributes to addressing and which is explained therein through its application to concrete case studies; the fourth paragraph highlights the complementarities and further potentials of the methodology; the fifth paragraph traces the conclusions.

Urban Digital Twin as an evolution of the smart city | As mentioned, the DT for a city fits into the context of integrating smart grids into smart cities (Deren, Wenbo and Zhenfeng, 2021). Smart grids, through mathematical optimisation methods typical of energy systems starting from the electrical system, allow a more efficient and reliable energy distribution, particularly in the context of increasing reliance on renewable energies, even in urban areas. (Betis, Cassandras and Nucci, 2018). The development of smart cities requires a multidisciplinary approach (Masera et alii, 2018): the DT extends and integrates the logic applied to energy systems and data management and use systems, moving well beyond the simple digitalisation of infrastructures.

The city's DT offers a holistic and interconnected framework of every aspect of urban life, envisioning a fully integrated approach among the various actors of society, radically transforming the conception, planning (Moghadam et alii, 2017), and consequently the management of urban areas: it indeed allows for modeling the entire urban ecosystem starting from the energy network, including transport, infrastructure, and public services, and can be a tool to predict citizen behaviours (Annaswamy et alii, 2018). At the core of this transformation is the convergence of advanced technologies such as Artificial Intelligence (Doria, 2022),

the Internet of Things (Hammi et alii, 2018), Augmented Reality (Shawash and Marji, 2020), and 3D modeling (Dejaco et alii, 2022).

Energy efficiency in parts of the city is one of the main goals of smart cities and represents a key area of application for the DT (Bortolini et alii, 2022). Through the simulation and optimisation of urban energy flows (also in real-time), it is possible to identify opportunities to reduce consumption, improve the integration of renewable sources, and optimise resource use (Zhang et alii, 2019). A crucial area of intervention is the structuring of the electrical grid serving urban areas and the electrification of mobility (Kirpes et alii, 2019); however, to maximise the benefits of electrification, a holistic approach to urban planning is necessary. Regarding the establishment of energy communities, the DT can answer the dual question of which sites in the city (areas underlying the various primary cabins) to establish an energy community and from which optimal aggregate in terms of electricity generation and loads of various prosumers it should be composed (Prevedi et alii, 2023; Nguyen-Huu et alii, 2022).

One of the most innovative aspects of urban DTs is their ability to anticipate and mitigate problems through simulation and forecasting, offering a comprehensive and dynamic overview of the urban environment, enabling more informed decision-making and targeted interventions to improve energy efficiency (Ali et alii, 2024), plan the constitution of renewable energy communities in the most suitable sites, promote sustainable mobility, and ensure the quality of life for citizens.

As mentioned, many cities are undergoing experimentation and case studies. In Zurich, the DT focuses mainly on urban planning, examining the Energy Plan through solar potential, shadow analysis and airflow (Schrotter and Hürzeler, 2020). The Helsinki DT (Hämäläinen, 2021) represents an advanced case study in which the complete 3D city model is implemented online and provides energy data for each building from city registries, a tool for comparing energy consumption between buildings

of the same era, the solar energy received by surfaces, the energy from geothermal wells, the simulation of energy consumption and CO₂ emissions of the entire city, and the estimation of potential energy efficiency improvements considering appropriate renovations.

There are also interesting case studies of some university campuses, such as those of West Cambridge (Qiuchen Lu et alii, 2019) and Dublin, which, however, show significant simplification due to the reduced number of buildings and stakeholders involved; Turin also represents a pilot case study limited to individual sectors or districts of the city (Anselmo et alii, 2023), in which the thermal consumption of buildings is deduced from thermographic data.

From examining case studies on the use of DTs for energy investigation and simulation, the centrality of the theme of the availability of static and dynamic data emerges, which often are not of the quantity, quality, or accessibility necessary to develop even an approximate model. Many of the examples cited are united by the use of platforms for estimating the potential for energy production from the sun and the energy needs of buildings, through which, with stochastic methods and the use of machine learning, they extend the data obtained from specific case studies of limited extension and therefore more easily investigable to the rest of the urban environment. The methodology described below is particularly interesting because it represents a way of overcoming, in a flexible and refined approach, the essential problem of the nature and availability of data, especially energy data, that is functional for a DT at an urban scale.

Challenges and design | The structuring of the experimentation of the DT in the energy field usually begins with the collection of highly heterogeneous data in terms of origin, format, granularity, and size. The integration of such data – arising, for example, from cadastres, 3D models, electricity and gas energy consumption, production of energy from re-

newable sources, and Energy Performance Certificates of buildings – requires specific methodologies and presupposes overcoming a series of critical issues, foremost among them the collection and reuse of data (many of which are privately owned) that raise significant issues of compliance with privacy regulations and ethics.

Moreover, once the initial dataset is incorporated, it needs to be periodically updated and integrated into mathematical models that provide synthetic indicators on the evolution of the aspects investigated. Finally, historical centres in European cities (especially in Italy) with protected buildings impose some limitations on modernisation and efficiency interventions, such as installing insulations or photovoltaic panels. In this context, if it is verified that achieving the set efficiency goals is substantially impossible, the DT must contribute to defining compensatory interventions in other areas of the city.

The goal of the methodology illustrated below leads to the experimentation of digital technologies and processes capable of analysing the energy response of the urban environment, primarily its built component, to then perform simulations of transformation scenarios that allow for the prefiguration of efficiency measures and other broader requalification interventions. The methodology is extremely significant as it supports the creation of explicitly simplified calibrated energy DTs for the investigation at the urban scale.

R2M Solution⁴ was a technology partner of the H2020 +CityxChange project (part of the ‘Smart Cities and Communities’ program), within which it verified the scalability of the use of the software and methodology adopted in the case study of Positive Energy Blocks (Fig. 1, 2). R2M Solution has extended to 5 Italian cities – including Bologna – the experimentation carried out in +CityxChange on two lighthouse cities, Limerick in Ireland and Trondheim in Norway. The experiments in the 5 Italian cities led to the design of decarbonisation and energy management scenarios that, from the scale of the block or group of buildings, can be applied to the district scale and thus represent a valid methodology for those cities that need to accelerate their energy transition path to meet ambitious goals by 2030. The 100 cities selected by the Cities Mission indeed require digital tools and infrastructures that enable rapid procedures and are capable of making the most of the quantity of data already available today without precluding the possibility of later integrating further quantities and types of information whose collection and management can be gradually enabled also thanks to the application of FAIR⁵. Such procedures, which involve collaboration and exchange among public actors, citizens, and energy market operators, indeed require extended times that may not be compatible with the needs of the decarbonisation roadmap and may slow down the development of DTs functional to it (Apanavičienė and Shahrabani, 2023).

Case studies: methodology, data analysis, and results

To test the methods developed in +CityxChange, several Italian cities of different sizes, politics, and experiences related to transition processes were selected, in particular Bologna, Milan, Rome, Udine, and Crispiano in the Province of Taranto (Fig. 3), also involved in the complementary initiative Scalable Cities aimed at testing its replicability and expanding the scale of experiences in

other contexts. Through the use of an ecosystem of software under the IES Intelligent Communities Lifecycle (ICL)⁶, a dynamic energy model was created capable of reflecting the performances of the context under examination but also of predicting with a high level of detail the energy consumption of buildings, CO₂ emissions, energy demand peaks, energy costs, and the production of renewable energy.

The approach was progressive and followed an incremental path: starting from interventions aimed at reducing the energy consumption of buildings through the implementation of passive measures on

the envelope, it then moved on to optimising the systems; finally, it focused on the production of locally distributed renewable energy and on the implementation of energy exchange systems in a Renewable Energy Community key.

In the case of Bologna, two very different areas were examined for location, morphology, building types, inhabitants, socioeconomic realities, and functions: the Pilastro-Roveri district located in the Northeast of the city characterised by the residential village of Pilastro and the Roveri production area with a strong presence of manufacturing and craft activities; the Pratello / Sant’Isaia area located in the

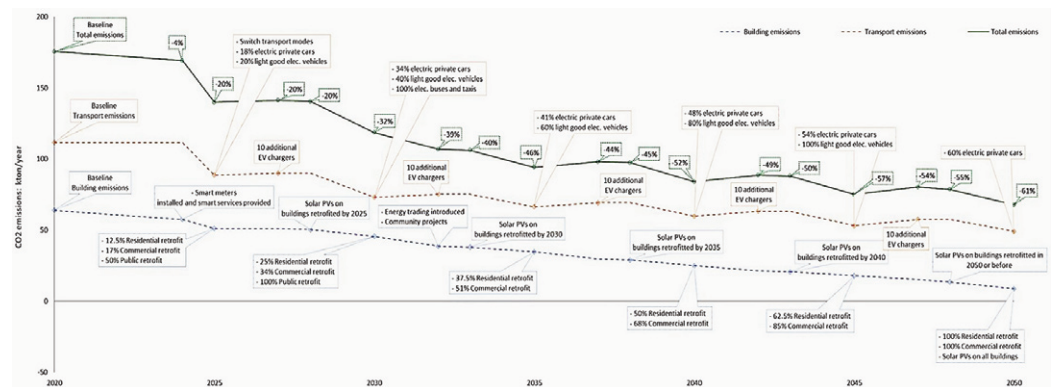
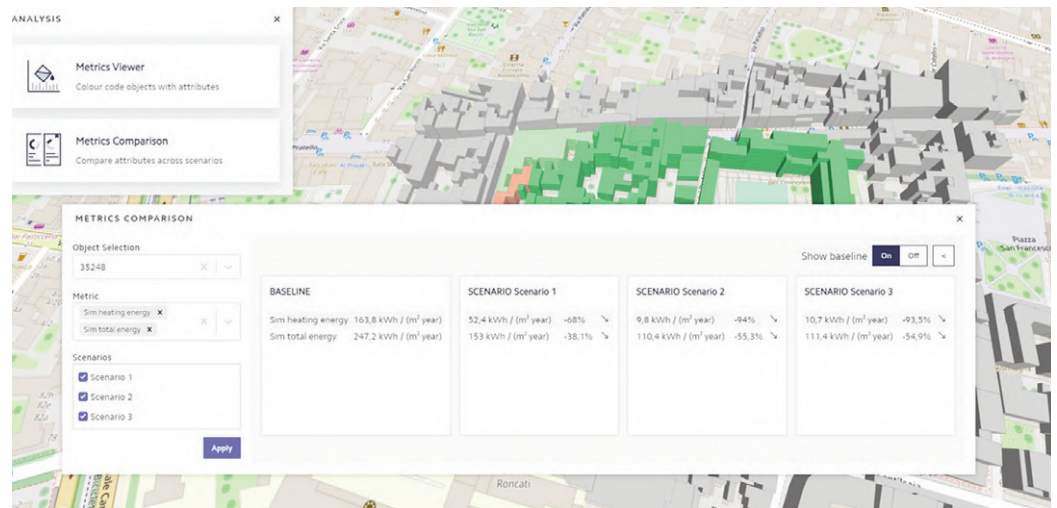


Fig. 12 | Zona Pratello / Sant’Isaia, historic city centre of Bologna: comparison metrics between the three transformation scenarios (source: r2msolution.com; +CityxChange project).

Fig. 13 | Limerick city decarbonisation roadmap graphic, up to 2050 final target (source: r2msolution.com; +CityxChange project).

Fig. 14 | 3D visualisation of the City of Limerick decarbonisation roadmap (source: r2msolution.com; +CityxChange project).

city's historical centre. The Pilastro-Roveri district was also one of the case studies of the GECO Project⁷, funded by the European Institute of Innovation & Technology, aimed at facilitating the path to the realisation of an energy community and the H2020 GRETA project, which aimed at improving the knowledge of the conditions and barriers to the emergence of active citizen participation within the energy system to support local and global decarbonisation goals. Both research groups from the Department of Architecture and the Department of Electrical, Electronic, and Information Engineering Guglielmo Marconi of the University of Bologna were also partners in the aforementioned projects.

Within the GRETA project, models were tested to define the current energy demand of four case studies, including Bologna, developed within the Enerkad GIS environment⁸. To generate the energy model, information from the urban cadastre and the years of construction were established through estimates and for homogeneous areas. The number and installed capacity of photovoltaic panels were derived from the Open Data of the City of Bologna. The results of the GRETA modeling were adopted and incorporated into the energy model developed by R2M in the new research.

It is important to emphasise that the validity and extreme interest of this multiscale methodology of analysis and simulation lie in its ability to provide sufficiently interesting results to guide strategies for retrofitting, efficiency improvement, and decarbonisation, even without detailed data and information. To create a model, only mandatory priority data such as simplified building geometry, building use and climate data are required (Tab. 1). In the case of the Bologna Pilastro area, data with high and medium-high priority were included; however, the possibility of refining the data output is nevertheless guaranteed by the option to incorporate more specific data with medium and medium-low priority if available.

The three-dimensional geometric model was generated using the iCD software (one of the tools from IES ICL), a Sketchup plugin on the OpenStreetMap GIS-based database (Fig. 4, 5). Based on the year of construction, the number of floors of buildings (to which the stratigraphy of the envelopes and the types of summer and winter air conditioning systems are associated), formal characteristics, type of use (residential, school, directional, etc.), and exposure, it was possible to derive the energy consumption of individual buildings and of the entire area under examination (Fig. 6).

A baseline pre-intervention expressed in kWh/m² per year was then generated, and subsequent scenarios of intervention were simulated, which may include passive measures (such as increasing the transmittance of the opaque envelope through the introduction of an insulating coat or the replacement of fixtures) and/or active measures (such as the replacement of the heat generator); it is also possible to simulate the benefits derived from the introduction of photovoltaic panels on roofs, evaluating installation opportunities and performance based on the inclination and exposure of the roofs (Fig. 7, 8). Scenarios of alternative interventions are quickly generated, allowing a comparative evaluation to determine which solution is most suitable in achieving the desired objectives, also considering the constraints imposed by the specific characteristics of the place.

For the introduction of insulating coats, photovoltaic panels on roofs, or other efficiency interventions in contexts where there are historical-artistic constraints, it is necessary to have a more in-depth knowledge of the individual buildings involved so as to exclude them from the hypothesised interventions or proceed with more precise design. In the case of the efficiency simulation of the envelope planned in the historical centre of Bologna for non-protected buildings, an internal coat was foreseen. The energy simulations concerning the current state and the intervention scenarios with active and passive solutions reveal significant potential for improving energy efficiency and mitigating greenhouse gas emissions (Fig. 9, 10).

The flowchart in Figure 11 succinctly outlines the process of creating the DT to clarify the various steps and promote the replicability of the proposed methodology.

Complementary solutions and further potential

The experiments in the Pilastro / Roveri areas and the historic centre of Bologna generated a thematic model simplified but detailed according to the availability of input data, applicable to an individual building, a neighbourhood, and potentially expandable to the entire city. This demonstrates how an urban DT can support experts and decision-makers in planning, evaluating, and managing city performance or a portion thereof, making use of analysis and simulation models at incremental levels of depth and complexity based on the development status of the DT infrastructure itself and the availability of data feeding it.

The research presented intends to take further steps forward, interpreting DTs as infrastructures supporting the multidisciplinary and transversality of the areas involved in cities' decarbonisation processes; many European DTs, including that of Bologna, aim to be not only enabling tools for data-based urban policies but also platforms that connect the various urban actors (Ketzler et alii, 2020).

To tackle this challenge, the methodology illustrated successfully implemented the sharing of analysis and simulation results through a pilot version of a central database extendable at the city scale. Through the iCIM software⁹, a monitoring and resource management platform that is accessible and shared was created. This platform allows the visualisation of sustainability metrics clearly and understandably even to laypersons and involves actors in the comparison between alternative scenarios (Fig. 12); moreover, it offers the possibility of partially managing data through filters, queries, and analysis tools of trends, allowing the acquisition of insights useful for making informed decisions.

Another very promising development of the methodology is the possibility of providing support for the creation of Renewable Energy Communities and evaluating different scenarios through a strategic study that, through the dynamic modeling of buildings, the simulation of district heating, district cooling, and smart electric grids, allows evaluating the potential enhancement of energy storage, the impact of local generation, and the improvement of building energy efficiency on electrical networks.

The outcome of the complex simulations described so far is the possibility of prefiguring a 'decarbonisation roadmap' that helps cities plan the implementation of the measures envisaged according to predetermined time intervals, also con-

sidering the presence or absence of economic incentives and evaluating investment return plans as well (Fig. 13, 14).

Conclusions and future developments | Artificial intelligence, digital registries and DTs are revolutionising urban regeneration processes. Tools to analyse and simulate the city in its entirety are increasingly necessary to manage the energy consumption of urbanised areas sustainably and to study compensation measures for a general balance in view of the climate neutrality goals that even the City of Bologna aspires to (He et alii, 2020).

To date, several barriers to the development of urban DTs in the energy sector are observed, first among them the complexity in collecting data from various sources and systems, as well as their integration and management. Additionally, the high costs of implementation due to significant investments in technological infrastructures (such as sensors and software development for the acquisition and management of related data), the difficulty of data normalisation and interoperability between systems due to the lack of universally accepted standards, which limits the scalability of solutions, and finally, the security of data collected and analysed in large quantities, particularly those sensitive (Le Dréau et alii, 2023). The paper has illustrated an innovative approach to urban energy management using DT technology aimed at overcoming the barriers mentioned above and exemplified in several concrete use cases.

The interdisciplinarity of the work presented encourages cross-sectoral collaborations and innovations influencing urban planning and policy at the international level, making it highly relevant for informed decisions in urban contexts and sustainability. The research needs to be continued by exploring further use cases and also extending the spectrum of application areas to other sectors, such as sustainable mobility. Another step forward consists of validating the simulations through the comparison of outcomes with real data in order to better understand the reliability of the methodology and proceed with any necessary calibrations.

Using DTs as tools to support urban policies can lead to greater efficiency in resource use and a better quality of life for citizens. However, their integration process into existing tools and urban policies will require a further collaborative effort among researchers, urban decision-makers, and civil society; hence the need to open today's research focused on addressing technical and technological issues to 'contributive research' modes that employ collaborative environments at the same time social, digital, and physical that function as experimentation centres for new governance structures, project planning, management, and citizen engagement.

Notes

- 1) The five-year +CityXChange project (GA 824260) ends in October 2023 (source: cityxchange.eu).
- 2) For more information, see the webpage research-and-innovation.ec.europa.eu/funding/funding-opportunities/funding-programmes-and-open-calls/horizon-europe/eu-missions-horizon-europe/climate-neutral-and-smart-cities_en#documents [Accessed 11 April 2024].
- 3) For more information on GRETA – GReen Energy Transition Actions (GA101022317), see the webpage: projectgreta.eu [Accessed 11 April 2024].
- 4) R2M Solution is an engineering company specialising in integrated, multidisciplinary consultancy; it acts as a link between the research world and the market, enabling the migration of innovative technologies and services. For more information, see the webpage: r2msolution.com/it [Accessed 11 April 2024].
- 5) Acronym for findability, accessibility, interoperability, and reusability.
- 6) For more information on ICL (IES), see the webpage: r2msolution.com/it/services/prodotti-innovativi/ies-icl-2/ [Accessed 6 April 2024].
- 7) For more information on GECCO – Green Energy Community, EIT Climate KIC TC_2.2.15_190736_P125-1, see the webpage: gecocommunity.it [Accessed 6 April 2024].
- 8) For more information, see the webpage: projectgreta.shinyapps.io/greta-analytics/?tab=cs1 [Accessed 6 April 2024].
- 9) For more information on iCIM (IES), see the webpage: iesve.com/support/icim [Accessed 6 April 2024].

References

- Al-Sharehawy, R., Kumar, B. and Watson, R. (2021), “A Digital Twin Uses Classification System for Urban Planning and City Infrastructure Management”, in *Journal of Information Technology in Construction*, vol. 26, pp. 832-862. [Online] Available at: doi.org/10.36680/j.itcon.2021.045 [Accessed 11 April 2024].
- Anselmo, S., Ferrara, M., Corgnati, S. P. and Boccardo, P. (2023), “Aerial urban observation to enhance energy assessment and planning towards climate-neutrality – A pilot application to the city of Turin”, in *Sustainable Cities and Society*, vol. 99, article 104938, pp. 1-15. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.scs.2023.104938 [Accessed 13 April 2024].
- Apanavičienė, R. and Shahrabani, M. M. N. (2023), “Key Factors Affecting Smart Building Integration into Smart City – Technological Aspects”, in *Smart Cities*, vol. 6, issue 4, pp. 1832-1857. [Online] Available at: doi.org/10.3390/smartcities6040085 [Accessed 11 April 2024].
- Attaran, M. and Celik, B. G. (2023), “Digital Twin – Benefits, use cases, challenges, and opportunities”, in *Decision Analytics Journal*, vol. 6, article 100165, pp. 1-10. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.dajour.2023.100165 [Accessed 11 March 2024].
- Ali, U., Bano, S., Shamsi, M. H., Sood, D., Hoare, C., Zuo, W., Hewitt, N. and O’Donnell J. (2024), “Urban building energy performance prediction and retrofit analysis using data-driven machine learning approach”, in *Energy and Buildings*, vol. 303, article 113768, pp. 1-16. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113768 [Accessed 11 April 2024].
- Annaswamy, A. M., Guan, Y., Tseng, H. E., Zhou, H., Phan, T. and Yanakiev, D. (2018), “Transactive Control in Smart Cities”, in *Proceedings of the IEEE*, vol. 106, issue 4, pp. 518-537. [Online] Available at: doi.org/10.1109/JPROC.2018.2790841 [Accessed 11 April 2024].
- Betis, G., Cassandras, C. G. and Nucci, C. A. (2018), “Smart Cities”, in *Proceedings of the IEEE*, vol. 106, issue 4, pp. 513-517. [Online] Available at: doi.org/10.1109/JPROC.2018.2812998 [Accessed 11 April 2024].
- Bortolini, R., Rodrigues, R., Alavi, H., Vecchia, L. F. D. and Forcada, N. (2022), “Digital Twins’ Applications for Building Energy Efficiency – A Review”, in *Energies*, vol. 15, issue 19, article 7002, pp. 1-17. [Online] Available at: doi.org/10.3390/en15197002 [Accessed 11 April 2024].
- Caprari, G., Castelli, G., Montuori, M., Camardelli, M. and Malvezzi, R. (2022), “Digital Twin for Urban Planning in the Green Deal Era – A State of the Art and Future Perspectives”, in *Sustainability*, vol. 14, issue 10, article 6263, pp. 1-16. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su14106263 [Accessed 11 April 2024].
- Dejaco, M. C., Scanagatta, C., Mannino, A. and Condotta, M. (2022), “Transizione digitale per il facility management – BIM, CMMS e manutenzione predittiva | Digital transition in facility management – BIM, CMMS and diagnostic maintenance”, in *Agathón / International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 12, pp. 168-177. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/12152022 [Accessed 11 April 2024].
- Deren, L., Wenbo, Y. and Zhenfeng, S. (2021), “Smart city based on digital twins”, in *Computational Urban Science*, vol. 1, article 4, pp. 1-11. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s43762-021-00005-y [Accessed 11 April 2024].
- Doria, E. (2022), “L’automazione del censimento tecnologico – Il centro storico di Betlemme | Automation of urban technological census – The historical centre of Bethlehem”, in *Agathón / International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 12, pp. 178-189. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/12162022 [Accessed 11 April 2024].
- Gantioler, S., Balest, J., Tomasi, S., Voltolini, F. and Della Valle, N. (2023), “Transformative disruptiveness or transition? Revealing digitalization and deep decarbonization pathways in the Italian smart electricity meter roll-out”, in *Energy Research and Social Science*, vol. 106, article 103309, pp. 1-16. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.erss.2023.103309 [Accessed 11 April 2024].
- Hämäläinen, M. (2021), “Urban Development with Dynamic Digital Twins in Helsinki City”, in *IET Smart Cities*, vol. 3, issue 4, pp. 201-210. [Online] Available at: doi.org/10.1049/smc.2.12015 [Accessed 11 April 2024].
- Hammi, B., Khatoun, R., Zeadally, S., Fayad, A. and Khoukhi, L. (2018), “IoT technologies for smart cities”, in *IET Networks*, vol. 7, issue 1, pp. 1-13. [Online] Available at: doi.org/10.1049/iet-net.2017.0163 [Accessed 11 April 2024].
- He, X., Lin, M., Chen, T.-L., Liu, B., Tseng, P.-C., Cao, W. and Chiang, P.-C. (2020), “Implementation plan for low-carbon resilient city towards sustainable development goals – Challenges and perspectives”, in *Aerosol and Air Quality Research*, vol. 20, issue 3, pp. 444-464. [Online] Available at: doi.org/10.4209/aaqr.2019.11.0568 [Accessed 11 April 2024].
- Ketzler, B., Naserentin, V., Latino, F., Zangelidis, C., Thuvander, L. and Logg, A. (2020), “Digital Twins for Cities – A State-of-the-Art Review”, in *Built Environment Journal*, vol. 46, issue 4, pp. 547-573. [Online] Available at: doi.org/10.2148/benv.46.4.547 [Accessed 11 April 2024].
- Kirpes, B., Danner, P., Basmadjian, R., de Meer, H. and Becker, C. (2019), “E-Mobility Systems Architecture – A model-based framework for managing complexity and interoperability”, in *Energy Informatics*, vol. 2, article 15, pp. 1-31. [Online] Available at: doi.org/10.1186/s42162-019-0072-4 [Accessed 11 April 2024].
- Le Dréau, J., Lopes, R. A., O’Connell, S., Finn, D., Hu, M., Queiroz, H., Alexander, D., Satchwell, A., Österreicher, D., Polly, B., Arteconi, A., de Andrade Pereira, F., Hall, M., Kirant-Mitic, T., Cai, H., Johra, H., Kazmi, H., Li, R., Liu, A., Nespoli, L. and Saeed, M. H. (2023), “Developing energy flexibility in clusters of buildings – A critical analysis of barriers from planning to operation”, in *Energy and Buildings*, vol. 300, article 113608, pp. 1-21. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113608 [Accessed 11 April 2024].
- Masera, M., Bompard, E. F., Profumo, F. and Hadjsaid, N. (2018), “Smart (Electricity) Grids for Smart Cities – Assessing Roles and Societal Impacts”, in *Proceedings of the IEEE*, vol. 106, issue 4, pp. 613-625. [Online] Available at: doi.org/10.1109/JPROC.2018.2812212 [Accessed 11 April 2024].
- Moghadam, S. T., Delmastro, C., Corgnati, S. P. and Lombardi, P. (2017), “Urban energy planning procedure for sustainable development in the built environment – A review of available spatial approaches”, in *Journal of Cleaner Production*, vol. 165, pp. 811-827. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.142 [Accessed 11 April 2024].
- Nguyen-Huu, T.-A., Tran, T. T., Tran, M.-Q., Nguyen, P. H. and Sloomweg, J. (2022), “Operation Orchestration of Local Energy Communities through Digital Twin – A Review on Suitable Modeling and Simulation Approaches”, in *2022 IEEE 7th International Energy Conference (ENERGYCON), May 9-12 2022, Riga, Latvia*, pp. 1-6. [Online] Available at: doi.org/10.1109/ENERGYCON53164.2022.9830264 [Accessed 11 April 2024].
- Prevedi, A., Penalzoza, J. D. R., Pontecorvo, T., Napolitano, F., Tossani, F., Borghetti, A. and Nucci, C. A. (2023), “Optimal Operation of Renewable Energy Communities Through Battery Energy Systems – A Field Data-Driven Real-Time Simulation Study”, in *International Conference on Smart Energy Systems and Technologies (SEST), 4-6 September 2023, Mugla, Turkiye*, pp. 1-6. [Online] Available at: doi.org/10.1109/SEST57387.2023.10257402 [Accessed 11 April 2024].
- Qiuchen Lu, V., Parlikad, A. K., Woodall, P., Ranasinghe, G. D. and Heaton, J. (2019), “Developing a Dynamic Digital Twin at a Building Level – Using Cambridge Campus as Case Study”, in DeJong, M. J., Schooling, J. M. and Viggiani, G. M. B. (eds), *International Conference on Smart Infrastructure and Construction 2019 (ICSIC) | Driving data-informed decision-making*, pp. 67-75. [Online] Available at: doi.org/10.1680/icsic.64669.067 [Accessed 13 April 2024].
- Ramaswami, A., Pandey, B., Li, Q., Das, K. and Nagpure, A. (2023), “Toward Zero-Carbon Urban Transitions with Health, Climate Resilience, and Equity Co-Benefits – Assessing Nexus Linkages”, in *Annual Review of Environment and Resources*, vol. 48, pp. 81-121. [Online] Available at: doi.org/10.1146/annurev-environ-112621-063931 [Accessed 11 April 2024].
- Schrotter, G. and Hürzeler, C. (2020), “The Digital Twin of the City of Zurich for Urban Planning”, in *PFG / Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science*, vol. 88, pp. 99-112. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s41064-020-00092-2 [Accessed 11 April 2024].
- Shahat, E., Hyun, C. T. and Yeom, C. (2021), “City Digital Twin Potentials – A Review and Research Agenda”, in *Sustainability*, vol. 13, issue 6, article 3386, pp. 1-20. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su13063386 [Accessed 11 April 2024].
- Shawash, J. and Marji, N. (2020), “Visioni di un futuro più verde per il Seil di Amman – La Realtà Aumentata come strumento di progetto | Visions of a greener future for the Seil of Amman – Augmented Reality as an urban design tool”, in *Agathón / International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 8, pp. 220-229. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/8212020 [Accessed 11 April 2024].
- Zhang, C., Cui, C., Zhang, Y., Yuan, J., Luo, Y. and Gang, W. (2019), “A review of renewable energy assessment methods in green building and green neighborhood rating systems”, in *Energy and Buildings*, vol. 195, pp. 68-81. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.04.040 [Accessed 11 April 2024].

ARTICLE INFO

Received	18 March 2024
Revised	21 April 2024
Accepted	27 April 2024
Published	30 June 2024

CONTRATTO DI CITTADINANZA ENERGETICA E TRANSIZIONE DELLE CITTÀ EUROPEE

ENERGY CITIZENSHIP CONTRACT AND EUROPEAN CITIES TRANSITION

Andrea Boeri, Danila Longo, Saveria Olga Murielle Boulanger, Martina Massari

ABSTRACT

Gli ultimi Rapporti dell'IPCC evidenziano la lentezza della transizione energetica e ambientale, oltre che il limitato coinvolgimento dei cittadini nel Green Deal Europeo; tuttavia molte città sono divise tra la necessità di accelerare il processo di transizione e garantire un contesto di giustizia sociale: in questo scenario la cittadinanza energetica mette in relazione sistema energetico e partecipazione attiva. Il presente testo propone una riflessione sul rapporto tra i concetti di cittadinanza energetica e di transizione giusta, nel contesto delle città europee, introducendo uno strumento innovativo denominato Energy Citizenship Contract, sviluppato dal progetto H2020 – GRETA. Attraverso una ricerca multilivello e sperimentazioni condotte in Italia, Spagna e Portogallo il contributo esplora la sua adattabilità in contesti diversi per la costruzione di percorsi di sviluppo resilienti.

The latest IPCC reports highlight the slow progress of energy and environmental transition, as well as the limited involvement of citizens in the European Green Deal; however, many cities are divided between the need to accelerate the transition process and ensure a context of social justice: in this scenario, energy citizenship relates the energy system to active participation. This paper proposes a reflection on the relationship between the concepts of energy citizenship and just transition in the context of European cities, introducing an innovative tool called the Energy Citizenship Contract developed by the H2020 project – GRETA. The contribution explores its adaptability in different contexts for constructing resilient development pathways through multilevel research and experiments conducted in Italy, Spain, and Portugal.

KEYWORDS

contratto di cittadinanza energetica, transizione energetica, decarbonizzazione, giustizia energetica, neutralità climatica

energy citizenship contract, energy transition, decarbonisation, energy justice, climate neutrality

Andrea Boeri is a Full Professor of Architecture Technology at the Department of Architecture, University of Bologna (Italy). His research covers environmental sustainability and the quality of buildings and urban systems, innovative technologies for architecture, material performances, and construction elements. E-mail: andrea.boeri@unibo.it

Danila Longo, Full Professor of Architecture Technology at the Department of Architecture, University of Bologna (Italy), focuses on technologies for energy efficiency, climate change mitigation and adaptation, co-design processes for the green transition of cities, and the enhancement of cultural heritage. E-mail: danila.longo@unibo.it

Saveria Olga Murielle Boulanger, Architect and Post-doctoral Research Fellow in Architecture Technology, deals with innovative and sustainable neighbourhood and building-district regeneration strategies, focusing on envelope systems, urban microclimate, and energy citizenship. E-mail: saveria.boulanger@unibo.it

Martina Massari, Architect and Post-doctoral Research Fellow in Urban Planning, specialises in planning and designing urban and territorial participatory processes linked to climate and energy transition driven by social innovation. E-mail: martina.massari@unibo.it



Negli anni recenti l'Unione Europea ha orientato le politiche energetiche verso un sistema più sostenibile e centrato sulla cittadinanza. Questo è evidente nei programmi Horizon Europe (European Commission, 2021a) e nel Green Deal Europeo (European Commission, 2019b) che hanno sottolineato l'importanza delle tecnologie energetiche rinnovabili e dell'uso efficiente dell'energia (Trevisan, Ghiani and Pilo, 2023), così come quello di una inclusione maggiore della popolazione. L'inclusione dei cittadini nei processi decisionali relativi all'energia, specialmente quando è perseguita con approcci in grado di colmare le disuguaglianze esistenti (Jenkins et alii, 2016; Jenkins, Sovacool and McCauley, 2018), influenza positivamente la risposta della comunità e l'adozione di soluzioni più estese. Gli ultimi Report dell'IPCC (2022, 2023), del resto, evidenziano come i processi di transizione energetica e ambientale vadano a rilento rispetto agli obiettivi ambiziosi della Commissione Europea.

Come evidenziato negli studi di diversi autori (Irwin, 2015, 2018; Green, 2019; Betsill and Bulkeley, 2006), il cambiamento climatico è un problema di sistema che coinvolge un numero consistente di interessi e di attori; ne sono una conferma gli esiti della recente 28a Conferenza delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (COP 28)¹, in cui l'Unione Europea e gli Stati membri hanno raggiunto un accordo sull'assumere un ruolo guida nell'abbandono graduale dei combustibili fossili.

Tra le esperienze proattive più frequentate in questi ultimi anni si ricordano le azioni legate ai Positive Energy Districts (PEDs), distretti a energia positiva, che si configurano come interventi ad approccio sistemico alla trasformazione energetica dei distretti urbani (Ferrante, Romagnoli and Villani, 2023; Longo et alii, 2023). Le azioni di intervento diretto al miglioramento energetico si affiancano a strategie più adattive, come quelle legate alla resilienza, sottolineando la necessità di un approccio ispirato alle reazioni che il mondo naturale mostra in risposta alle sfide (Antonini, 2019). Il contributo di Antonini promuove la riflessione sulla necessità di gestire l'incertezza del futuro attraverso la costruzione di scenari probabilistici che diano la possibilità di analizzare le variabili in gioco e di fornire risposte adeguate, flessibili e adattabili nel tempo: tale riflessione è di particolare rilevanza in un contesto caratterizzato da forte incertezza, nel quale è essenziale strutturare azioni che tengano conto della molteplicità delle variabili future.

In quest'ottica è cruciale identificare strategie operative capaci di concretizzare progettualità e scenari elaborati; il divario tra politiche climatiche e loro concreta implementazione appare ancora rilevante ed è possibile contestualizzarlo in un insufficiente allineamento tra le strategie di adattamento pianificate a livello macro e la loro implementazione concreta a scala meso / micro (Rossi, 2019). Nel tentativo di accelerare la transizione molte città si stanno impegnando attivamente nella missione 100 Climate Neutral and Smart Cities (European Commission, 2020) e nella costruzione del contratto climatico, il Climate City Contract (European Commission 2020, 2022a): in queste iniziative una delle sfide cruciali riguarda la partecipazione dei cittadini nel contesto del sistema energetico. Recentemente l'Unione Europea stes-

sa ha attribuito alle comunità il diritto di generare, immagazzinare, consumare e vendere la propria energia (European Commission 2019a, 2019b, 2021b, 2022b), attraverso disposizioni normative che rappresentano un primo passo verso un cambiamento che mira a superare la tradizionale concezione dei cittadini come meri consumatori passivi o destinatari delle tecnologie (Boeri et alii, 2020; Boulanger et alii, 2021).

In questo contesto si inserisce il tema della cittadinanza energetica (Walker and Devine-Wright, 2008; Montalvo et alii, 2021), quale cerniera tra un sistema energetico tecnico-tecnologico complesso e la sua interazione con quello sociale, nella forma di una valorizzazione della cittadinanza attiva. Questo concetto sembra superare gli approcci individualistici, centrati sulle tecnologie energetiche e sugli investimenti personali dei consumatori, per includere spazi collettivi di partecipazione e impegno (Olivadese et alii, 2021). La ricerca empirica che indaga nuovi metodi per superare gli ostacoli che i cittadini affrontano nella loro interazione con il sistema energetico è in ritardo: in particolare l'esclusione sociale e la mancanza di capacità di interagire con importanti attori interessati, insieme alla carenza di accesso a informazioni adeguate a guidare le decisioni e alle difficoltà nell'interpretare i dati e altre informazioni energetiche, emergono come barriere critiche che richiedono un'attenzione prioritaria da parte della ricerca contemporanea.

Per superare tali barriere il presente articolo riporta alcuni risultati di un progetto europeo Horizon 2020 (GRETA – GReen Energy Transition Actions, GA101022317) che si interroga sul concetto di cittadinanza energetica e sui possibili strumenti per favorire nuove dinamiche di interrelazione tra cittadini e politiche energetiche pubbliche a livello urbano; ci si interroga anche su come accelerare le strategie di mitigazione del cambiamento climatico attraverso un approccio operativo che promuova la cittadinanza energetica nei distretti urbani (Fig. 1). La struttura del contributo si articola in tre sezioni principali, seguite da una sezione conclusiva: la prima sezione esamina l'approccio metodologico adottato, la seconda inquadra la ricerca all'interno del più recente dibattito sul tema, mentre la terza presenta lo strumento sviluppato dal progetto GRETA e ne illustra la sua applicazione attraverso tre casi studio; infine la sezione conclusiva propone una riflessione finale che riassume il dibattito in corso e lo collega alle implicazioni pratiche emerse dalla sperimentazione.

Il contesto metodologico e le fasi della ricerca: il percorso del progetto GRETA tra energia e cittadinanza

La gestione e l'uso equo dell'energia sono ampiamente riconosciuti come leve fondamentali per perseguire una transizione ecologica che sia anche socialmente equa (Carley and Konisky, 2020) ed è analogamente riconosciuto che tale transizione sarà favorita dall'inclusione dei cittadini come partner e partecipanti attivi. Questi fattori, considerati in un'ottica integrata, mettono in luce il ruolo dell'energia come bene condiviso per la comunità (Barbera et alii, 2016).

Tuttavia, a livello locale, le città ancora faticano a comprendere non solo il potenziale, ma anche le strategie operative necessarie per una maggiore partecipazione della popolazione al sistema

energetico locale; allo stesso tempo, secondo una prospettiva di transizione giusta, è importante considerare che la partecipazione collettiva al sistema energetico non garantisce automaticamente vantaggi per tutti, poiché diversi gruppi sociali occupano posizioni diverse all'interno delle loro comunità.

Il progetto GRETA si basa su tali premesse per migliorare la comprensione dei fattori che determinano la cittadinanza energetica, sviluppando strumenti e modelli analitici per abilitare la governance, monitorarne l'impatto e gestire le complesse dinamiche multi-attoriali in gioco. Attraverso l'implementazione di attività di partecipazione cittadina in sei casi di studio internazionali il progetto GRETA mira a definire nuovi strumenti attuativi: 1) percorsi collaborativi di decarbonizzazione delle comunità; 2) contratti di cittadinanza energetica, accordi co-costruiti con gli attori territoriali per abilitare, accompagnare, monitorare l'impatto e governare azioni di gestione energetica condivise.

Dal punto di vista metodologico la ricerca ha adottato un approccio basato sia sull'aggiornamento critico e qualitativo dello stato dell'arte della cittadinanza energetica nel contesto della transizione, sia sulla creazione di uno strumento originale per fornire un supporto tangibile alle comunità nel loro percorso di transizione. Infatti, la ricerca parte da una riflessione critica del limite di implementazione delle attuali strategie di transizione energetica, come richiamato anche da Rossi (2019).

La ricerca si è dunque sviluppata in tre fasi: la prima ha comportato una esplorazione bibliografica sullo stato dell'arte relativamente ai temi della cittadinanza energetica; la seconda fase ha visto la partecipazione attiva dei ricercatori e, soprattutto, della comunità del caso studio italiano Pilastroroveri nella co-costruzione di due strumenti originali – i Percorsi di Decarbonizzazione Comunitaria (CTP) e i Contratti di Cittadinanza Energetica (ECC) – che sono stati successivamente presentati, testati e validati nella terza fase anche negli altri casi studio del progetto GRETA.

Nel lavoro con i casi studio, la ricerca ha contribuito alla costruzione di un quadro conoscitivo approfondito dei territori e delle loro dinamiche multi-attoriali. Successivamente, sono stati testati gli strumenti in tre contesti nel Sud Europa, identificati come aree d'interesse per l'analisi (Spagna, Italia, Portogallo). I tre casi studio selezionati sono interessanti per diverse ragioni.

In primo luogo rappresentano ottimi esempi di comunità impegnate in attività di transizione energetica e nel processo di sviluppo della propria cittadinanza energetica. In secondo luogo offrono diverse prospettive sul tema della cittadinanza energetica: Pilastroroveri sta avviando il proprio percorso di transizione in un contesto però particolarmente attivo e attento alla transizione energetica, rappresentato dalla Città di Bologna; il caso studio di UR BEROA e Coopérnico presentano entrambi comunità già da tempo impegnate in strategie concrete come quelle delle comunità energetiche. Tuttavia anche UR BEROA e Coopérnico presentano differenze: UR BEROA è una comunità specifica localizzata in un preciso contesto geografico e sociale, mentre Coopérnico coinvolge più comunità sparse nel territorio portoghese. Infine i casi studio sono tutti situati in contesti me-

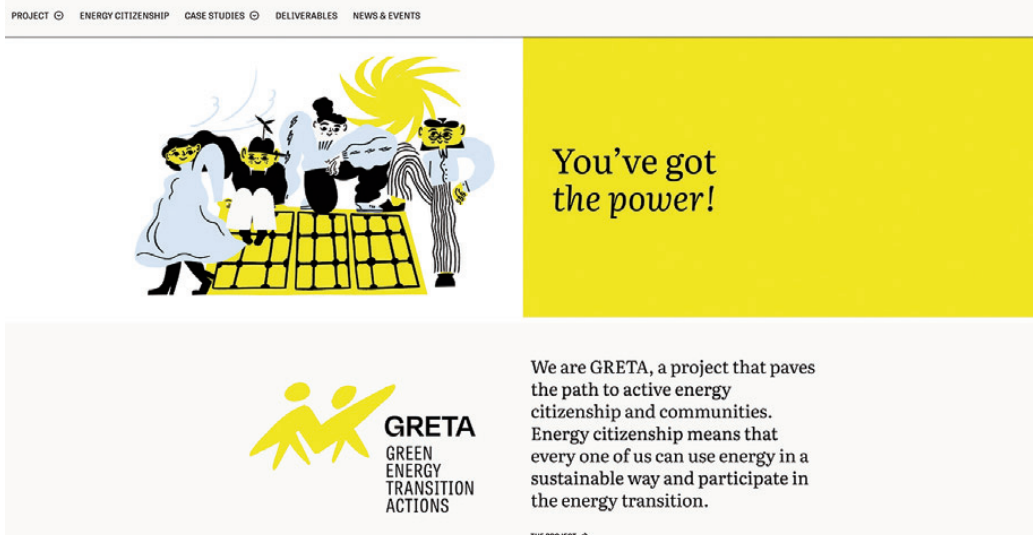


Fig. 1 | The GRETA project webpage (source: projectgreta.eu, 2023).

diterranei, soggetti a condizioni climatiche simili. Un limite nella scelta di questi tre casi è una certa diversità delle comunità, che può rappresentare un limite nella comparazione tra essi, poiché rende la valutazione più qualitativa che quantitativa.

La cittadinanza energetica nel contesto della transizione

La ricerca sulla transizione energetica ha spesso trascurato l'influenza che le relazioni di potere sociale hanno sui processi di modellazione dei sistemi energetici (Sovacool, 2021), mentre la letteratura ha a lungo cercato di applicare principi di giustizia alle questioni energetiche per affrontare le importanti nuove problematiche indotte dal processo di decarbonizzazione (Sareen and Haastad, 2018). Con il riconoscimento del ruolo chiave dei cittadini nella transizione energetica, è ancora necessario riflettere sulle possibilità e sulle condizioni limitanti della cittadinanza energetica nell'ambito di una prospettiva di transizione giusta.

Il concetto di 'cittadinanza energetica' descrive i molteplici modi in cui i cittadini sono attivamente coinvolti nella transizione energetica, sia come consumatori sia come utenti, attraverso il loro impegno politico partecipando a movimenti di protesta per influenzare le direzioni del cambiamento (Devine-Wright, 2004). Emergendo come tema chiave della transizione energetica a livello europeo e mondiale tra il 2004 e il 2010, la cittadinanza energetica ha gradualmente guadagnato rilevanza. Tuttavia il coinvolgimento e la partecipazione nel sistema energetico possono anche assumere forme più problematiche e contraddittorie, come nei casi di opposizione e contestazione delle installazioni e dei progetti di energie rinnovabili; inoltre non tutte le iniziative di matrice civica sono giuste e inclusive, poiché possono tendere a coinvolgere prioritariamente categorie specifiche di utenti e membri della comunità.

Appare quindi urgente esplorare i molteplici collegamenti tra transizione energetica, partecipazione attiva, riduzione delle dinamiche di ingiustizia sociale e concreti strumenti di implementazione delle azioni; inoltre per capire le motivazioni che sottendono all'impegno dei cittadini nei processi di decarbonizzazione, dovrebbe essere investigato il contesto di operatività dei diversi attori in gioco.

Il progetto GRETA e gli Energy Citizenship Contracts: riflessioni sull'applicazione in tre casi studio

Nel contesto teorico e scientifico delineato precedentemente si inserisce il progetto GRETA, all'interno del quale sono stati ideati e testati alcuni strumenti, qui sinteticamente presentati come iniziative sperimentali per rendere operative le suddette considerazioni. A livello generale il progetto si è concentrato sull'indagine dei fattori che facilitano o ostacolano lo sviluppo della cittadinanza energetica nei contesti locali, regionali, nazionali e transnazionali. I principali risultati del progetto sono identificabili in due strumenti: i Percorsi di Decarbonizzazione Comunitaria (Community Transition Pathways – CTP) e i Contratti di Cittadinanza Energetica (Energy Citizenship Contracts – ECC).

Come percorsi di transizione i CTP sono progettati per supportare le comunità locali nel definire il proprio percorso, tenendo conto delle peculiarità dei contesti comunitari in cui vengono implementati. Si distinguono per il coinvolgimento della comunità nelle varie fasi del processo, che inizia con l'identificazione dei limiti e delle caratteristiche del contesto locale, passa attraverso un'auto-valutazione critica del livello di cittadinanza energetica e si conclude con la riflessione sulla visione della comunità per il proprio quartiere nel lungo termine e l'identificazione delle risorse necessarie per le attività prioritarie.

Prendendo a modello i Contratti Climatici di Città, che costituiscono la base per l'ambiziosa iniziativa 100 Città Climatiche Neutrali (European Commission, 2020) entro il 2030 proposta dal Mission Board for Climate Neutral and Smart Cities alla Commissione Europea, gli ECC si pongono al livello delle comunità e definiscono uno scenario per favorire la collaborazione tra gli attori, facilitando interventi energetici, come ad esempio l'istituzione di gruppi di autoproduzione di energia, associazioni di autoconsumatori, comunità energetiche e altre attività e servizi correlati all'energia e alla conservazione delle risorse. L'approccio sistemico è fondamentale: gli ECC sono studiati per favorirli e ampliarli se già presente e per attivarli in caso contrario.

I contratti sono studiati per essere adattati alle circostanze peculiari di ciascun caso studio attra-

verso un processo multi-livello e co-creativo. Essi comprendono tre passaggi chiave, che li caratterizzano: 1) stabilire obiettivi e target per la comunità per accelerare la sua transizione energetica; 2) definire la strategia di transizione e il piano d'azione; 3) identificare gli attori e le loro responsabilità corrispondenti. Ogni comunità del caso studio è stata responsabile di delineare il proprio ECC, che rafforzerà e regolerà i rapporti tra le parti coinvolte nel sistema energetico, all'interno di ciascun contesto specifico. Come facilitatori operativi gli ECC devono avere obiettivi chiari e coinvolgere vari attori su base volontaria: l'obiettivo principale è stabilire un contesto reciprocamente vantaggioso che consenta attività legate alla sostenibilità energetica e al benessere comunitario, proposte e attuate da cittadini, associazioni, imprese e altre parti interessate all'interno del contesto specifico.

Il Distretto di Energia Rinnovabile Pilastro-Roveri (Figg. 2-6), situato nella parte nord-orientale di Bologna (Italia), è una zona a uso misto costruita negli anni '60 per affrontare la crescente domanda di alloggi sociali che comprende due zone: Pilastro, area prevalentemente residenziale, e Roveri, a vocazione produttiva e industriale. L'area è sede di numerose associazioni, testimonianza della forte volontà di trasformare una situazione di svantaggio abitativo in potenzialità di cambiamento; Roveri, parallelamente, ospita una varietà di aziende tra cui industrie nel settore dell'imballaggio, della meccanica e della produzione di veicoli elettrici. Il Comune di Bologna sta promuovendo attivamente l'istituzione di comunità energetiche all'interno della città, ipotizzando Pilastro-Roveri come area pilota.

Il progetto GRETA, nell'area, ha fornito spunti approfonditi di riflessione sulle dinamiche sociali e di potere delle azioni legate all'energia. L'area è stata coinvolta in una serie di attività partecipative (Figg. 7-10) volte a definire la visione, le azioni e le risorse principali attraverso la costruzione di un CTP e, in seguito, di un ECC. In questo percorso gli abitanti di Pilastro e i lavoratori di Roveri hanno dimostrato diversi livelli di impegno nei confronti delle questioni energetiche: gli abitanti di Pilastro, in generale, mancavano di consapevolezza riguardo alle opportunità per migliorare l'efficienza energetica nelle proprie case, nei luoghi di lavoro e nei luoghi di svago; tuttavia hanno espresso disponibilità e impegno a partecipare e cercare informazioni; al contrario, la forza lavoro di Roveri ha mostrato consapevolezza e interesse.

In questo contesto, l'ECC co-sviluppato può servire come strumento per aumentare la consapevolezza e sensibilizzare le Istituzioni e i segmenti marginalizzati della popolazione; inoltre l'ECC stabilisce ruoli chiari, impegni e benefici per le parti interessate con interessi nelle due aree. Nel complesso, la crescente motivazione della comunità nell'affrontare questioni legate all'energia sta convincendo più attori a guidare e organizzare iniziative.

Coopérnico (Fig. 11) è una Istituzione no-profit che finanzia centrali elettriche fotovoltaiche attraverso il crowdfunding e collabora per fornire elettricità solare virtuale ai suoi membri a tariffe competitive. Fondata nel 2013 da 16 cittadini, essa consente ai suoi membri di essere contemporaneamente clienti e proprietari della cooperativa energetica rinnovabile, concentrata sui benefici economici e ambientali per la società, adottando

sistemi di gestione energetica domestica che consentono un migliore monitoraggio e comprensione del consumo energetico. La consapevolezza ambientale è profondamente radicata tra i membri di Coopérnico, che non sono disposti a investire in produzioni che comportino significative conseguenze ambientali. La sua attività si basa sull'adesione volontaria, sul coordinamento di gruppi locali e su altri contributi volontari; facendo ciò la cooperativa sostiene governi, cittadini, Comuni e consigli parrocchiali nei loro sforzi per istituire Comunità Energetiche Rinnovabili in Portogallo.

Coopérnico ha già condotto deliberazioni interne riguardanti metodi per migliorare la partecipazione attiva dei suoi membri alle attività cooperative con un diffuso consenso sull'essenzialità di una ulteriore espansione della base sociale. Questo sforzo richiede investimenti maggiori sia nelle risorse umane sia nei progressi tecnologici, considerando la disponibilità di piattaforme che facilitano il coinvolgimento volontario dei membri della comunità. L'ECC sviluppato in questo caso studio è stato percepito come un contenitore-piattaforma, atto ad assumere la forma di un ambien-

te digitale, favorendo così una maggiore partecipazione e coinvolgimento dei cittadini all'interno della cooperativa.

UR BEROA (Figg. 12-14), una cooperativa energetica fondata da residenti di un quartiere ad alto reddito di San Sebastian (Spagna), fornisce acqua calda domestica e servizi di riscaldamento comunitario ai suoi membri. Fondata nel 1985, quando i membri della comunità assunsero il controllo della società privata responsabile di questi servizi, attualmente la cooperativa conta 570 membri ed è situata in un quartiere con una bassa mixité sociale e bassi tassi di disoccupazione, fattori che si aggiungono a un elevato livello di istruzione e coinvolgimento tecnologico. Questo ambiente favorevole e l'abbondante presenza di tecnologie rinnovabili nel quartiere facilitano l'accettazione e l'adozione di questioni legate al clima come sfide condivise.

Nel corso degli anni UR BEROA ha effettuato una transizione verso soluzioni e tecnologie energetiche più pulite ed efficienti, tra cui una centrale a biomassa di quartiere (Fig. 15). La presenza attiva di un'associazione di quartiere (Raggruppa-

mento de Comunidades del Polígono de Bera-Bera) mirava ad assicurare condizioni economiche favorevoli, garantendo che la remunerazione dei partner fosse in linea con il costo dei servizi, delle forniture e delle spese generali della cooperativa. Il coinvolgimento della comunità nel progetto GRETA ha rivelato un'ampia varietà di posizioni e opinioni. Gli abitanti del quartiere hanno mostrato una crescente consapevolezza dell'impatto del loro comportamento energetico sull'ambiente e sono interessati a ridurre il consumo energetico e le emissioni di gas serra. Tuttavia il coinvolgimento e il livello di preoccupazione variano notevolmente tra i residenti: c'è un sostegno generale per iniziative per l'efficienza energetica, ma la comprensione delle questioni specifiche e delle possibili soluzioni rimane limitata.

La mancanza di consapevolezza su questioni energetiche specifiche, nonché la mancanza di una visione comune sulla direzione in cui si muove la cooperativa, ha finora limitato l'adozione di misure più radicali. Le attività di GRETA hanno sollevato la questione del coinvolgimento delle parti interessate nel processo decisionale della coope-



Fig. 2-6 | Pilastrò Neighbourhood in Bologna, Italy: orthophoto (source: GoogleMaps, 2023); neighbourhood images (credits: A. Boeri and D. Longo, 2017, 2021); shared community gardens (credit: D. Longo, 2021).

rativa, incoraggiandola a rivedere e migliorare i propri meccanismi di coinvolgimento dei membri.

Conclusioni | Nel contesto del progetto GRETA sono state sviluppate riflessioni riguardanti la cittadinanza energetica, sottolineando come, da un lato, politiche e processi ingiusti rappresentino un ostacolo alla cittadinanza energetica e, dall'altro, come ci sia una difficoltà presente nella concretizzazione proficua di strategie di mitigazione, specialmente alle scale urbane locali. Nonostante l'esistenza di strategie promettenti per l'accelerazione della neutralità climatica (si veda per esempio il caso dei PED o le diverse metodologie di costruzione degli scenari), ci sono evidenti ostacoli strutturali nell'attuazione di interventi, soprattutto nel contesto del complesso sistema energetico, che richiede una maggiore partecipazione dei cit-

tadini, fortemente auspicata e promossa dalla Commissione Europea stessa. Ma questa partecipazione incontra barriere nella scarsa rappresentatività dei diversi gruppi sociali, soprattutto quelli più fragili; la complessità del sistema energetico non favorisce questa partecipazione, ma la presenza di azioni come le comunità energetiche può supportare un progressivo inserimento dei cittadini nel sistema.

I casi di studio oggetto di ricerca mettono in luce sia le sfide sia le opportunità specifiche del contesto del sud Europa. Il Distretto Energetico Rinnovabile di Pilastro-Roveri a Bologna affronta sfide sociali ed economiche, mostrando un interessante potenziale per lo sviluppo della comunità energetica. Coopénico, una cooperativa energetica rinnovabile in Portogallo, mira ad ampliare le sue fonti di generazione di energia rinnovabile e a

coinvolgere i suoi membri in iniziative energetiche sostenibili guidate dalla comunità, mentre UR BEROA si concentra sull'espansione della sua base di membri, dei servizi energetici e dell'autoconsumo collettivo basato su energie rinnovabili.

Gli ECC emergono come strumenti promettenti per dare ruolo attivo alle comunità e garantire la loro partecipazione nella definizione delle azioni di transizione verso un sistema energetico più sostenibile ed equo. Aumentando le relazioni di vicinato tra i membri della comunità, gli ECC permettono loro di avere voce più forte e influenza nei processi decisionali. Attraverso la creazione di partenariati e reti e la creazione di canali formali per il coinvolgimento e la rappresentanza della comunità gli ECC possono supportare efficacemente una progressiva risoluzione delle dinamiche di ingiustizia nella partecipazione al sistema energetico. Inoltre gli ECC possono servire come centri di conoscenza, fornendo alle comunità informazioni sui sistemi energetici, sulle tecnologie e sulle politiche. Come mostra l'esperienza di Coopénico, incrementando la conoscenza collettiva, gli ECC possono dare potere ai membri della comunità per prendere decisioni informate, comprendere vantaggi e benefici e infine non solo partecipare attivamente alle discussioni sull'energia ma anche supportarle.

Tuttavia è importante immaginare un Piano di coinvolgimento a medio-lungo termine da parte dei molteplici attori coinvolti, incoraggiando, per esempio, il livello istituzionale a dare risposta alle richieste e aderire agli impegni presi. Allo stesso tempo non si può trascurare l'importanza dell'alfabetizzazione energetica e dell'uso di strumenti adeguati che sono cruciali per favorire scelte più informate e pratiche energetiche sostenibili. L'originalità della ricerca risiede soprattutto nella costruzione condivisa di strumenti più vicini alle specifiche istanze delle comunità locali nel percorso di transizione energetica, integrando gli strumenti istituzionali e coinvolgendo tutti gli attori necessari per il cambiamento. Attualmente non sembrano esistere altri strumenti di supporto diretti alle comunità per migliorare la loro transizione verso la cittadinanza energetica.

Inoltre la flessibilità degli strumenti, in particolare gli ECC, permette un'ampia possibilità di trasferibilità e replicabilità delle esperienze di uso. Gli strumenti stessi sono disponibili sul sito del progetto GRETA per essere utilizzati da qualsiasi comunità desideri avviare o migliorare il proprio percorso di cittadinanza energetica. Tuttavia il principale limite è rappresentato dalla mancanza di una applicazione degli ECC, ancora in corso di adozione: da questo punto di vista il caso italiano appare come il più promettente, per via del contestuale lavoro sul Climate City Contract che ne accelera l'operatività.



Fig. 7 | Pilastro Neighbourhood in Bologna, Italy: community project event (credit: D. Longo, 2021).

Fig. 8 | The GRETA project: picture of the participatory workshops in Pilastro and Roveri in Bologna, Italy (credit: S. Boulanger and M. Massari, 2021).

In recent years, the European Union has directed energy policies towards a more sustainable and citizen-centred system. This is evident in the Horizon Europe programs (European Commission, 2021a) and the European Green Deal (European Commission, 2019b), which have emphasised the importance of renewable energy technologies and efficient energy use (Trevisan, Ghiani and Pilo, 2023), as well as greater inclusion of the popula-

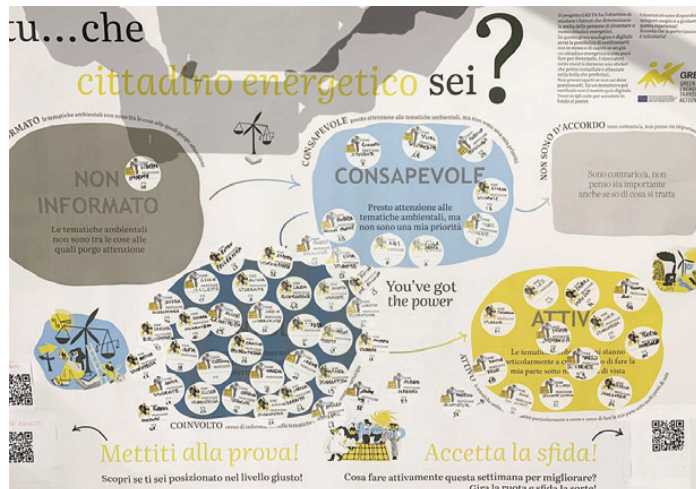
tion. The inclusion of citizens in energy-related decision-making processes, especially when pursued with approaches capable of bridging existing inequalities (Jenkins et alii, 2016; Jenkins, Sovacool and McCauley, 2018), positively influence community response and the adoption of more extensive solutions. Furthermore, the latest IPCC Reports (2022, 2023) highlight how energy and environmental transition processes need to catch up to the ambitious goals of the European Commission.

As highlighted in the studies of various authors (Irwin, 2015, 2018; Green, 2019; Betsill and Bulkeley, 2006), climate change is a systemic problem involving a significant number of interests and actors; this was confirmed by the outcomes of the recent 28th United Nations Climate Change Conference (COP 28)¹, where the European Union and its member states reached an agreement to take a leading role in gradually phasing out fossil fuels.

Actions related to Positive Energy Districts (PEDs), which constitute systemic approaches to the energy transformation of urban districts, can be recognised among the most frequent and recent proactive experiences (Ferrante, Romagnoli and Villani, 2023; Longo et alii, 2023). Direct intervention actions for energy improvement are accompanied by more adaptive strategies, such as those related to resilience, emphasising the need for an approach inspired by nature's reactions to challenges (Antonini, 2019). Antonini's contribution promotes reflection on the need to manage future uncertainty by constructing probabilistic scenarios that allow the analysis of variables and provide adequate, flexible, and adaptable responses over time. Such reflection is particularly relevant in a context characterised by strong uncertainty, where it is essential to structure actions considering many future variables.

In this context, it is crucial to identify operational strategies capable of realising developed projects and scenarios. The gap between climate policies and their concrete implementation remains significant and can be contextualised in an insufficient alignment between planned adaptation strategies at the macro level and their concrete implementation at the meso / micro scale (Rossi, 2019). To accelerate the transition, many cities actively engage in the mission of 100 Climate Neutral and Smart Cities (European Commission, 2020) and the construction of the Climate City Contract (European Commission, 2020, 2022a). In these initiatives, one of the most crucial challenges concerns citizen participation in the context of the energy system. Recently, the European Union itself has granted communities the right to generate, store, consume, and sell their own energy (European Commission, 2019a, 2019b, 2021b, 2022b) through regulatory provisions that represent a first step towards a change aiming to surpass the traditional conception of citizens as merely passive consumers or recipients of technologies (Boeri et alii, 2020; Boulanger et alii, 2021).

In this context, the theme of energy citizenship (Walker and Devine-Wright, 2008; Montalvo et alii, 2021) emerges as a hinge between a complex technological energy system and its interaction with the social one, in the form of an enhancement of active citizenship. This concept seems to surpass individualistic approaches, focused on



Figgs. 9, 10 | The GRETA project: pictures of the participatory workshops in Pilastro and Roveri in Bologna, Italy (credits: S. Boulanger and M. Massari, 2021).

Fig. 11 | Coopérnico, cooperative webpage (source: coopernico.org, 2023).

energy technologies and consumers' investments, to include collective spaces of participation and engagement (Olivadese et alii, 2021). Empirical research investigating new methods to overcome the obstacles citizens face in their interaction with the energy system is lagging behind: in particular, social exclusion and lack of capacity to interact with significant interested actors, along with the scarcity of access to adequate information to guide decisions and difficulties in interpreting energy data and other information, emerge as critical barriers requiring priority attention from contemporary research.

To overcome these barriers, this article reports some results of a European Horizon 2020 project (GRETA – GReen Energy Transition Actions, GA101022317) that interrogates the concept of energy citizenship and possible tools to foster new dynamics of interaction between citizens and public energy policies, at the urban level, contributing to the reflection on how to accelerate climate change mitigation strategies through an operational approach that promotes energy citizenship in urban districts (Fig. 1). The structure of the contribution is articulated into three main sections, followed by a concluding section: the first section examines the adopted methodological approach, the second frames the research within

the most recent debate on the topic, while the third presents the tool developed by the GRETA project and illustrates its application through three case studies; finally, the concluding section proposes a final reflection summarizing the ongoing debate and linking it to the practical implications emerged from the experimentation.

Methodological context and research phases: the journey of the GRETA project between energy and citizenship

The management and fair use of energy are widely recognised as fundamental drivers for pursuing an ecological transition that is also socially equitable (Carley and Konisky, 2020), and it is similarly acknowledged that such a transition will be facilitated by the inclusion of citizens as partners and active participants. These factors, considered from an integrated perspective, highlight the role of energy as a shared good for the community (Barbera et alii, 2016).

However, at the local level, cities still struggle to understand not only the potential but also the necessary operational strategies for greater population participation in the local energy system; at the same time, from a perspective of just transition, it is essential to consider that collective involvement in the energy system does not automatically guarantee benefits for everyone, as dif-



ferent social groups occupy various positions within their communities.

The GRETA project is based on these premises to improve understanding of the factors determining energy citizenship, developing tools and analytical models to enable governance, monitoring its impact, and managing the complex multi-actor dynamics at play. Through the implementation of citizen participation activities in six international case studies, the GRETA project aims to define new operational tools: 1) collaborative paths for community decarbonisation; 2) energy citizenship contracts, co-built agreements with territorial actors to enable, accompany, monitor impact, and govern specific shared energy management actions.

Methodologically, the research adopted an approach based on both critical and qualitative updating of the state of the art on energy citizen-

ship in the context of transition and on creating an original tool to provide tangible support to communities in their transition process. Indeed, the research starts from a critical reflection on the implementation limit of current energy transition strategies, as also highlighted by Rossi (2019).

The research, therefore, is developed in three phases: the first involved a bibliographic exploration of the state of the art regarding energy citizenship themes; the second phase saw the active participation of researchers and, above all, of the Pilastro-Roveri Italian case study community in the co-construction of two original tools – Community Decarbonization Paths (CTP) and Energy Citizenship Contracts (ECC) – which were subsequently presented, tested, and validated in the third phase also in the other case studies of the GRETA project. The research, working with case studies, contributed to constructing a compre-

Fig. 12-15 | UR BEROA district in San Sebastian, Spain: orthophoto (source: GoogleMaps, 2023); the district and the biomass power plant (credits: S. Boulanger and M. Massari, 2021).

hensive knowledge framework of the territories and their multi-actor dynamics. Subsequently, the tools were tested in three contexts in Southern Europe, which were identified as areas of interest for analysis (Spain, Italy, Portugal).

The three selected case studies are interesting for several reasons. Firstly, they represent excellent examples of communities engaged in energy transition activities and developing their energy citizenship. Secondly, they offer different perspectives on the theme of energy citizenship: Pilastro-Roveri is initiating its transition process in a particularly active and attentive context to energy transition, represented by the City of Bologna; the UR BEROA and Coopérnico case studies both present communities long engaged in concrete strategies such as those of energy communities. However, UR BEROA and Coopérnico also present differences: UR BEROA is a specific community located in a precise geographical and social context, while Coopérnico involves multiple communities scattered throughout the Portuguese territory. Finally, the case studies are all in Mediterranean contexts, subject to similar climatic conditions. The specific diversity of the communities may limit the choice of these three cases, making the evaluation more qualitative than quantitative.

Energy citizenship in the transition context |

Research on energy transition has often overlooked the influence that social power relations have on energy system modelling processes (Sovacool, 2021), while the literature has long sought to apply principles of justice to energy issues to address the significant new challenges induced by the decarbonisation process (Sareen and Haarstad, 2018). With the recognition of the key role of citizens in the energy transition, it is still necessary to reflect on the possibilities and limiting conditions of energy citizenship within a perspective of just transition.

The concept of 'energy citizenship' describes how citizens are actively involved in the energy transition, both as consumers and as users, through their political engagement by participating in protest movements to influence the direction of change (Devine-Wright, 2004). Emerging as a key theme of the energy transition at the European and global levels between 2004 and 2010, energy citizenship has gradually gained relevance. However, involvement and participation in the energy system can also take more problematic and contradictory forms, such as in cases of opposition and contestation of renewable energy installations and projects; furthermore, not all civic initiatives are fair and inclusive, as they may tend to prioritise specific categories of users and community members.

Therefore, it is urgent to explore the multiple connections between energy transition, active participation, reduction of social injustice dynamics, and concrete implementation tools for actions; furthermore, the operational context of the various actors involved should be investigated to understand the motivations underlying citizens' engagement in decarbonisation processes.

The GRETA project and the Energy Citizenship Contracts: reflections on their application in three case studies | The GRETA project fits into the theoretical and scientific framework outlined earlier, within which some tools have been conceived and tested, briefly presented here as

experimental initiatives to operationalise the considerations above. At a general level, the project focused on investigating the factors that facilitate or hinder the development of energy citizenship in local, regional, national, and transnational contexts. The main results of the project can be identified in two tools: Community Transition Pathways (CTPs) and Energy Citizenship Contracts (ECCs).

As transition pathways, CTPs are designed to support local communities in defining their path, considering the peculiarities of the community contexts in which they are implemented. They stand out for community involvement in various phases of the process, which begins with the identification of the limits and characteristics of the local context, passes through a critical self-assessment of the level of energy citizenship, and concludes with a reflection on the community's vision for its neighbourhood in the long term and the identification of resources necessary for priority activities.

Taking City Climate Contracts as a model, which form the basis for the ambitious initiative 100 Climate Neutral Cities (European Commission, 2020) by 2030 proposed by the Mission Board for Climate Neutral and Smart Cities to the European Commission, ECCs are positioned at the community level and define a scenario to promote collaboration among actors, facilitating energy interventions, such as the establishment of energy self-production groups, consumer associations, energy communities, and other energy-related activities and services. A systemic approach is fundamental: ECCs are designed to promote and expand it if already present or, in other cases, to activate it.

The contracts are designed to be adapted to the peculiar circumstances of each case study through a multi-level and co-creative process. They include three key steps characterising them: 1) establishing goals and targets for the community to accelerate its energy transition; 2) defining the transition strategy and action plan; and 3) identifying the actors and their corresponding responsibilities. Each case study community was responsible for outlining its own ECC, which will strengthen and regulate relationships between the parties involved in the energy system within each specific context. As operational facilitators, ECCs must have clear objectives and involve various actors voluntarily: the main goal is to establish a mutually beneficial context that enables sustainability and community well-being activities proposed and implemented by citizens, associations, businesses, and other stakeholders within the specific context.

The Pilastro-Roveri Renewable Energy District (Fig. 2-6), located in the North-Eastern part of Bologna (Italy), is a mixed-use area built in the 1960s to address the growing demand for social housing, consisting of two areas: Pilastro, mainly residential, and Roveri, with a productive and industrial vocation. The area is home to numerous associations, evidence of a strong willingness to transform a situation of housing disadvantage into a potentiality for change; Roveri, in parallel, hosts a variety of companies including industries in the packaging, mechanical, and electric vehicle production sectors. The Municipality of Bologna is actively promoting the establishment of energy

communities within the city, hypothesising Pilastro-Roveri as a pilot area.

The GRETA project provided in-depth insights into the social and power dynamics of energy-related actions in the area. The area was involved in a series of participatory activities (Fig. 7-10) to define the vision, actions, and main resources through constructing a CTP and, subsequently, an ECC. In this process, Pilastro residents and Roveri workers demonstrated different levels of commitment to energy issues. Pilastro residents, in general, needed more awareness regarding opportunities to improve energy efficiency in their homes, workplaces, and recreational areas; however, they expressed willingness and commitment to participate and seek information. In contrast, the Roveri workforce showed awareness and interest.

In this context, the co-developed ECC can serve as a tool to increase awareness and sensitise institutions and marginalised segments of the population; furthermore, the ECC establishes clear roles, commitments, and benefits for stakeholders with interests in both areas. Overall, the growing community motivation to address energy-related issues is prompting more actors to lead and organise initiatives.

Coopérnico (Fig. 11) is a non-profit institution that finances photovoltaic power plants through crowdfunding and collaborates to provide virtual solar electricity to its members at competitive rates. Founded in 2013 by 16 citizens, it allows its members to be customers and owners of the energy cooperative simultaneously. The renewable energy cooperative focuses on economic and environmental benefits for society, adopting domestic energy management systems that enable better monitoring and understanding of energy consumption. Ecological awareness is deeply rooted among Coopérnico members, who are unwilling to invest in production with significant environmental consequences. Its activity is based on voluntary membership, coordination of local groups, and other voluntary contributions; in doing so, the cooperative supports governments, citizens, municipalities, and parish councils in their efforts to establish Renewable Energy Communities in Portugal.

Coopérnico has already conducted internal deliberations regarding methods to improve active member participation in cooperative activities, with widespread consensus on the essentiality of further expanding the social base. This effort requires increased investments in human resources and technological advancements, considering the availability of platforms facilitating voluntary community member engagement. The ECC developed in this case study was perceived as a platform container, which could also take the form of a digital environment, thus fostering greater citizen participation and engagement within the cooperative.

UR BEROA (Fig. 12-14), an energy cooperative founded by residents of a high-income neighbourhood in San Sebastian (Spain), provides its members with domestic hot water and community heating services. Founded in 1985, when community members took control of the private company responsible for these services, the cooperative currently has 570 members; it is located in a neighbourhood with a low social mix and low unemployment rates, factors that add to a high level of education and technological involve-

ment. This favourable environment and abundant renewable technologies in the neighbourhood facilitate accepting and adopting climate-related issues as shared challenges.

Over the years, UR BEROA has transitioned to cleaner and more efficient energy solutions and technologies, including a neighbourhood biomass plant (Fig. 15). The active presence of a neighbourhood association (Raggruppamento de Comunità del Poligono de Bera-Bera) aimed to ensure favourable economic conditions, ensuring that partner remuneration was in line with the cost of services, supplies, and general expenses of the cooperative. Community involvement in the GRETA project revealed various positions and opinions. Neighbourhood residents showed increasing awareness of the impact of their energy behaviour on the environment and are interested in reducing energy consumption and greenhouse gas emissions. However, involvement and the level of concern vary significantly among residents: there is general support for energy efficiency initiatives, but an understanding of specific issues and possible solutions remains limited.

The lack of awareness of specific energy issues and a shared vision of the cooperative's future have limited the adoption of more radical measures. GRETA activities have raised the issue of stakeholder involvement in the cooperative's decision-making process, encouraging it to review and improve its member engagement mechanisms.

Conclusions | In the context of the GRETA project, reflections have been developed regarding energy citizenship, emphasising how, on the one hand, unjust policies and processes represent an obstacle to energy citizenship; on the other hand, there is a present difficulty in the fruitful realisation of mitigation strategies, especially at the local urban scales. Despite the existence of promising strategies for accelerating climate neutrality (see, for example, the case of PEDs or the various methodologies for scenario construction), there are evident structural obstacles in the implementation of interventions, especially in the context of the complex energy system, which requires greater citizen participation, strongly advocated and promoted by the European Commission itself. However, this participation encounters barriers due to the poor representativeness of the different social groups, especially the most vulnerable ones; the

complexity of the energy system does not favour this participation, but the presence of actions such as energy communities can support a progressive inclusion of citizens in the system.

The research case studies highlight the specific challenges and opportunities of the Southern European context. The Pilastrò-Roveri Renewable Energy District in Bologna faces social and economic challenges, showing interesting potential for the development of the energy community. Coopérnico, a renewable energy cooperative in Portugal, aims to expand its renewable energy generation sources and involve its members in sustainable energy initiatives guided by the community. At the same time, UR BEROA focuses on increasing its membership base, energy services, and collective self-consumption based on renewable energies.

ECCs emerge as promising tools to give an active role to communities and ensure their participation in defining transition actions towards a more sustainable and fair energy system. By increasing neighbourhood relations among community members, ECCs allow them to have a stronger voice and influence in decision-making processes. Through creating partnerships and networks and establishing formal channels for community engagement and representation, ECCs can effectively support a progressive resolution of injustice dynamics in energy system participation. Moreover, ECCs can serve as knowledge centres, providing communities with information on energy systems, technologies, and policies. As Coopérnico's experience shows, by increasing collective knowledge, ECCs can empower community members to make informed decisions, understand benefits and advantages, and ultimately actively participate in energy discussions and support them.

However, it is important to imagine a medium-to-long-term Engagement Plan by the multiple actors involved, encouraging, for example, the institutional level to respond to requests and adhere to commitments. At the same time, energy literacy and appropriate tools must be considered, which are crucial for promoting more informed choices and sustainable energy practices. The originality of the research lies mainly in the shared construction of tools closer to the specific demands of local communities in the energy transition process, integrating institutional tools and involving all the actors necessary for change. Currently, no other direct support tools exist for com-

munities to improve their transition to energy citizenship.

Furthermore, the flexibility of the tools, and in particular ECCs, allows a wide possibility of transferability and replicability of usage experiences. The tools are available on the GRETA project website and can be used by any community wishing to initiate or improve its energy citizenship journey. However, the main limitation is represented by the lack of ECC applications, which are still in the process of adoption: from this point of view, the Italian case appears as the most promising due to the simultaneous work on the Climate City Contract, which accelerates its operability.

Acknowledgements

The contribution is the result of a collective reflection by the Authors. Nevertheless, the introductory paragraph is attributed to S. O. M. B. Boulanger and M. Massari; the methodological section to S. O. M. B. Boulanger, D. Longo, and A. Boeri; the theoretical section on energy citizenship to M. Massari and S. O. M. B. Boulanger; the section on the GRETA project and case studies, and the conclusions to S. O. M. B. Boulanger, M. Massari, D. Longo, and A. Boeri.

Notes

1) All the documents produced by COP 28 are avail-

able at the following link: unfccc.int/decisions?F%5B0%5D=body%3A1343 [Accessed 14 March 2024].

2) For more information, see the webpage: project-greta.eu [Accessed 14 March 2024].

References

- Antonini, E. (2019), "Incertezza, fragilità, resilienza | Uncertainty, fragility, resilience", in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 6, pp. 6-13. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/612019 [Accessed 14 March 2024].
- Barbera, F., Dagnes, J., Salento, A. and Spina, F. (eds) (2016), *Il capitale quotidiano – Un manifesto per l'econo-*

mia fondamentale, Donzelli Editore, Roma.

Betsill, M. M. and Bulkeley, H. (2006), "Cities and the multilevel governance of global climate change", in *Global Governance*, vol. 12, issue 2, pp. 141-159. [Online] Available at: [jstor.org/stable/27800607](https://www.jstor.org/stable/27800607) [Accessed 14 March 2024].

Boeri, A., Gianfrate, V., Boulanger, S. O. M. and Massari, M. (2020), "Future Design Approaches for Energy Poverty – Users Profiling and Services for No-Vulnerable Condition", in *Energies*, vol. 13, issue 8, article 2115, pp. 1-18. [Online] Available at: doi.org/10.3390/en13082115 [Accessed 14 March 2024].

Boulanger, S. O. M., Massari, M., Longo, D., Turillazzi, B. and Nucci, C. A. (2021), "Designing Collaborative Energy Communities – A European Overview", in *Energies*,

vol. 14, issue 24, article 8226, pp. 1-17. [Online] Available at: doi.org/10.3390/en14248226 [Accessed 14 March 2024].

Carley, S. and Konisky, D. M. (2020), “The justice and equity implications of the clean energy transition”, in *Nature Energy*, vol. 5, issue 8, pp. 569-577. [Online] Available at: doi.org/10.1038/s41560-020-0641-6 [Accessed 14 March 2024].

Devine-Wright, P. (2004), “Towards zero-carbon – Citizenship, responsibility and the public acceptability of sustainable energy technologies”, in Buckle, C. (ed.), *Proceedings of Conference C81 of the Solar Energy Society*, UK Section of the International Solar Energy Society, vol. 21, pp. 51-62.

European Commission – Directorate-General for Research and Innovation (2022a), *EU Missions – 100 climate-neutral and smart cities*. [Online] Available at: data.europa.eu/doi/10.2777/191876 [Accessed 14 March 2024].

European Commission (2022b), *Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – REPowerEU – Joint European Action for more affordable, secure and sustainable energy*, document 52022DC0108, 108 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2022%3A108%3AFIN [Accessed 14 March 2024].

European Commission (2021a), *Regulation (EU) 2021/695 of the European Parliament and of the Council of 28 April 2021 establishing Horizon Europe – The Framework Programme for Research and Innovation, laying down its rules for participation and dissemination and repealing Regulations (EU) No 1290/2013 and (EU) No 1291/2013*, document 02021R0695-20240301. [Online] Available at: data.europa.eu/eli/reg/2021/695/2024-03-01 [Accessed 26 April 2024].

European Commission (2021b), *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – ‘Fit for 55’ – Delivering the EU’s 2030 Climate Target on the way to climate neutrality*, document 52021DC0550, 550 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021DC0550 [Accessed 14 March 2024].

European Commission – Directorate-General for Research and Innovation (2020), *100 Climate-Neutral Cities by 2030 – By and for the Citizens – Report of the Mission Board for Climate-Neutral and Smart Cities*. [Online] Available at: data.europa.eu/doi/10.2777/46063 [Accessed 14 March 2024].

European Commission (2019a), *Clean Energy for all Europeans*. [Online] Available at: op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/b4e46873-7528-11e9-9f05-01aa75ed71a1/language-en?WT.mc_id=Searchresult&WT.ria_c=null&WT.ria_f=3608&WT.ria_ev=search [Accessed 14 March 2024].

European Commission (2019b), *Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – The European Green Deal*, document 52019DC0640, 640 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN [Accessed 14 March 2024].

Ferrante, T., Romagnoli, F. and Villani, T. (2023), “Sviluppo urbano sostenibile – Organizzazione di contenuti informativi per la transizione verso i Distretti a Energia Positiva | Sustainable urban development – Organizing information content for the transition to Positive Energy Districts”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 13, pp. 191-204. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/13162023 [Accessed 14 March 2024].

Green, B. (2019), *The Smart enough city – Putting Technology in Its Place to Reclaim Our Urban Future*, The MIT Press, Cambridge (MA). [Online] Available at: doi.org/10.7551/mitpress/11555.001.0001 [Accessed 14 March 2024].

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change

(2023), *Climate Change 2023 – Synthesis Report – Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [Online] Available at: doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647 [Accessed 14 March 2024].

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2022), *Climate change 2022 – Impacts, adaptation, and vulnerability – Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [Online] Available at: ipcc.ch/report/ar6/wg2/ [Accessed 14 March 2024].

Irwin, T. (2018), “The Emerging Transition Design Approach”, in Storni, C., Leahy, K., McMahon, M., Lloyd, P. and Bohemia, E. (eds), *Design as a catalyst for change | DRS International Conference 2018, 25-28 June, Limerick, Ireland*, pp. 968-989. [Online] Available at: doi.org/10.21606/drs.2018.210 [Accessed 14 March 2024].

Irwin, T. (2015), “Transition Design – A Proposal for a New Area of Design”, in *Design and Culture | The Journal of the Design Studies Forum*, vol. 7, issue 2, pp. 229-246. [Online] Available at: doi.org/10.1080/17547075.2015.1051829 [Accessed 14 March 2024].

Jenkins, K., McCauley, D., Heffron, R., Stephan, H. and Rehner, R. (2016), “Energy justice – A conceptual review”, in *Energy Research & Social Science*, vol. 11, pp. 174-182. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.erss.2015.10.004 [Accessed 14 March 2024].

Jenkins, K., Sovacool, B. K. and McCauley, D. (2018), “Humanizing sociotechnical transitions through energy justice – An ethical framework for global transformative change”, in *Energy Policy*, vol. 117, pp. 66-74. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.enpol.2018.02.036 [Accessed 17 March 2024].

Longo, D., Boulanger, S. O. M., Massari, M. and Turci, G. (2023), “Cittadinanza energetica – Strumenti e tecnologie per abilitare la transizione nei distretti | Energy Citizenship – Tools and Technologies to enable Transition in Districts”, in *Techne | Journal of Technology for Architecture and Environment*, vol. 25, pp. 1-17. [Online] Available at: dx.doi.org/10.36253/techne-13721 [Accessed 17 March 2024].

Montalvo, C., Schlindwein, L., Ruggieri, B. and Kantel, A. (2021), *Framework for research on energy citizenship emergence structure and dynamics – D1.1 of the Horizon 2020 project GRETA*, EC grant agreement no. 101022317, The Hague, The Netherlands. [Online] Available at: project-greta.eu/wp-content/uploads/2022/01/GRETA_D1_1_Energy-citizenship-emergence-framework_v1_0.pdf. [Accessed 14 March 2024].

Olivadese, R., Alpagut, B., Revilla, B. P., Brouwer, J., Georgiadou, V., Woestenburg, A. and van Wees, M. (2021), “Towards Energy Citizenship for a Just and Inclusive Transition – Lessons Learned on Collaborative Approach of Positive Energy Districts from the EU Horizon2020 Smart Cities and Communities Projects”, in *Proceedings*, vol. 65, issue 1, article 20, pp. 1-8. [Online] Available at: doi.org/10.3390/proceedings2020065020 [Accessed 17 March 2024].

Rossi, G. E. (2019), “Adattamento urbano, strategie e progetto – Il divario fra le politiche e la loro implementazione | Urban adaptation, strategies and projects – The gap between policies and their implementation”, in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 6, pp. 46-57. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/652019 [Accessed 17 March 2024].

Sareen, S. and Haarstad, H. (2018), “Bridging socio-technical and justice aspects of sustainable energy transitions”, in *Applied Energy*, vol. 228, pp. 624-632. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.06.104 [Accessed 17 March 2024].

Sovacool, B. K. (2021), “Who are the victims of low-carbon transitions? Towards a political ecology of climate change mitigation”, in *Energy Research and Social Science*, vol. 73, article 101916, pp. 1-16. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.erss.2021.101916 [Accessed 17 March 2024].

Trevisan, R., Ghiani, E. and Pilo, F. (2023), “Renewable Energy Communities in Positive Energy Districts – A Gov-

ernance and Realisation Framework in Compliance with the Italian Regulation”, in *Smart Cities*, vol. 6, issue 1, pp. 563-585. [Online] Available at: doi.org/10.3390/smartsities6010026 [Accessed 17 March 2024].

Walker, G. and Devine-Wright, P. (2008), “Community renewable energy – What should it mean?”, in *Energy Policy*, vol. 36, issue 2, pp. 497-500. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.enpol.2007.10.019 [Accessed 17 March 2024].

ARTICLE INFO

Received	18 March 2024
Revised	16 April 2024
Accepted	24 April 2024
Published	30 June 2024

GESTIONE INTEGRATA DELLE RISORSE NATURALI IN CONTESTI URBANI SOSTENIBILI

INTEGRATED NATURAL RESOURCE MANAGEMENT IN SUSTAINABLE URBAN CONTEXTS

Renata Valente, Louise Anna Mozingo, Roberto Bosco,
Savino Giacobbe

ABSTRACT

A partire da riferimenti nazionali e internazionali la ricerca valuta l'integrabilità di interventi ecologici a basso impatto entro i perimetri di Comunità Energetiche Rinnovabili aventi come hub le Scuole superiori della Città Metropolitana di Napoli. Su di un caso pilota nel Comune di Giugliano in Campania (IT) si valutano soluzioni ambientali per la gestione integrata e condivisa di energia, vegetazione e acque meteoriche, attraverso simulazioni e indicatori di prestazione. I risultati evidenziano l'efficacia di un approccio sistemico al progetto degli spazi pubblici in termini di risparmio energetico ed emissioni di gas serra, superando la concezione quantitativa delle attrezzature pubbliche. Lo strumento flessibile risultante di supporto alle Amministrazioni può incoraggiare l'adozione di comportamenti virtuosi.

Based on national and international references, the research evaluates the integration of low-impact ecological interventions within the perimeters of Renewable Energy Communities in the Metropolitan City of Naples, with High Schools serving as hubs. The paper estimates a pilot case study within the Municipality of Giugliano in Campania (IT) for environmental solutions with integrated and shared management of energy, vegetation, and stormwater through simulations and performance indicators. The results highlight the effectiveness of a systemic approach to the design of public spaces in terms of energy savings and greenhouse gas emissions, going beyond the quantitative conception of public facilities. The proposed flexible tool supports local administrations to encourage the adoption of virtuous sustainable behaviours.

KEYWORDS

energie rinnovabili, soluzioni basate sulla natura, standard urbanistici, scuole superiori, microbacini idrografici

renewable energy, nature-based solutions, urban standards, high schools, micro watersheds

Renata Valente, Architect, is an Associate Professor at the Engineering Department of the 'Luigi Vanvitelli' University of Campania (Italy). She carries out research in the field of environmental design in relation to the redevelopment of urban open spaces and coastal areas, as well as the ecological rebalancing of contexts linked to sustainable technological design. E-mail: renata.valente@unicampania.it

Louise Anna Mozingo is a Full Professor of Landscape Architecture and Environmental Planning at the College of Environmental Design of the University of California, Berkeley (USA). Among her main research topics is the study of the redevelopment of the collective public landscape through collaborative decision-making processes. E-mail: lmozingo@berkeley.edu

Roberto Bosco, Architect, is a PhD Candidate at the Engineering Department of the 'Luigi Vanvitelli' University of Campania (Italy). He carries out research activities mainly in the field of environmental design in relation to the redevelopment of urban open spaces and sustainable technological design. E-mail: roberto.bosco@unicampania.it

Savino Giacobbe, Civil Engineer, is a PhD student Candidate at the Engineering Department of the 'Luigi Vanvitelli' University of Campania (Italy). He carries out research activities mainly in the field of environmental design in relation to the redevelopment of urban open spaces and sustainable technological design. E-mail: savino.giacobbe@unicampania.it



Il Panel Intergovernativo sul Cambiamento Climatico (IPCC, 2022) delle Nazioni Unite ha sottolineato il ruolo cruciale della giustizia ambientale nelle politiche di adattamento urbano. L'Europa si propone come modello globale nella transizione energetica e nella riduzione delle emissioni di carbonio, con un focus chiave su città e edilizia; in questa direzione ha introdotto i Positive Energy District (PED) per ridurre l'importazione di energia e le emissioni di CO₂ nelle urbanizzazioni sostenibili, aspirando a una maggiore produzione di energia rinnovabile (European Commission, 2019). Tali sistemi energetici urbani costituiscono un network con cui gli utenti interagiscono per soddisfare i bisogni della comunità connessa (JPI Urban Europe, 2020); d'altra parte, la rigenerazione sociale delle città origina dalla comunità stessa, fondandosi su principi di collaborazione e condivisione di responsabilità tra cittadini e organizzazioni del terzo settore (Ferrante, Romagnoli and Villani, 2023).

Le Comunità Energetiche Rinnovabili (CER) definiscono modelli per promuovere la transizione verso un sistema energetico competitivo (Antonazzi et alii, 2023) improntato alla decarbonizzazione, democratizzazione e decentralizzazione del settore. In Italia, il Decreto CER n. 414 del 07/12/2023 (MASE, 2023) promuove la costituzione e lo sviluppo di comunità che coinvolgono numerosi utenti, permettendo l'installazione di impianti FER fino a 1 MWp. L'allargamento della potenziale partecipazione agli edifici sottesi alla stessa cabina primaria aumenta la possibilità di conferire significato, valore sociale ed efficacia ambientale al concetto di comunità energetica, aprendo a scenari di gestione collettiva di più risorse (Otamendi-Irizar et alii, 2022). Tuttavia nella pratica emergono ancora lacune nelle strategie e disomogeneità nello sviluppo a livello territoriale e associativo che generano incertezze su scalabilità e replicabilità dei progetti.

Al pari delle risorse inalienabili alla comunità (acqua, salute, istruzione), è naturale considerare la distribuzione e gestione dell'energia come un dovere pubblico, uniformato da regolamentazioni di ordine generale. Le quantità di attrezzature normate dal Decreto Interministeriale n. 1444 del 02/04/1968 (Ministero dei Lavori Pubblici and Ministero dell'Interno, 1968) definiscono uno spazio tangibile e simbolico per la collettività in cui possono avviarsi processi significativi di rinnovamento della città esistente (Renzoni et alii, 2021; D'Ambrosio and Sgobbo, 2023). I servizi erogati devono esaudire il fabbisogno materiale e immateriale di una comunità (Solarino, 2008), definendo il carattere o la destinazione principale di un insediamento: questa prospettiva suggerisce di superare una lettura isolata di spazi e servizi urbani, definiti legislativamente solo in termini quantitativi, riconsiderandoli come sistemi spaziali connessi in grado di distribuire risorse e fornire servizi integrati agli abitanti.

In Italia, esempi di CER come Magliano Alpi (CN) e Montelabbate (PU) e la CERS di San Nicola da Crissa (VV) su edifici pubblici, mostrano la possibilità, a partire dalla questione energetica, di promuovere la partecipazione civica potenziando il legame di appartenenza e la responsabilità ambientale, fondamentali per instaurare politiche di condivisione e gestione integrata delle risorse collettive. La realizzazione di CER sui tetti di edifici pubblici può favorire la replicabilità di iniziative che

combinano i due obiettivi di giustizia climatica e sociale (Legambiente, 2022); in particolare, gli istituti scolastici sono già per destinazione e portata territoriale poli aggregativi, quando la loro dimensione e geometria permette l'installazione di impianti adeguati a trasformarli in hub di tali comunità (Bosco et alii, 2023).

Un paradigma da oltreoceano è il West Village nel Campus della UC Davis, in California, la più grande comunità 'net zero energy' degli Stati Uniti, risalente al 2011 (Fig. 1). Sebbene i modelli di simulazione del comportamento energetico non riportino il raggiungimento della totale autonomia, le prestazioni della comunità risultano di gran lunga migliori rispetto alle prescrizioni normative locali in materia energetica (Moghaddasi, Culp and Vanegas, 2021). Ciò è possibile grazie all'utilizzo combinato di impianti fotovoltaici (FV), di gestione anaerobica dei rifiuti per produrre energia e sistemi di accumulo, oltre alle numerose misure di efficienza energetica negli edifici e per i trasporti, come veicoli elettrici, piste ciclabili e navette.

Negli Stati Uniti è d'altronde pratica diffusa l'utilizzo degli spazi delle Scuole come supporti comunitari intersettoriali, in particolare tramite l'installazione di infrastrutture verdi (Zhang et alii, 2020) che combinano i benefici derivanti dall'inverdimento degli ambienti di apprendimento (risparmio energetico, miglioramento della qualità dell'aria, impatti sul benessere e le performance dei discenti) e quelli della gestione delle acque piovane, rappresentando anche uno strumento educativo per i membri più giovani della comunità.

A livello internazionale, infine, è interessante riportare alcune esperienze di comunità solidali costituite in area mediterranea. Arroyo Alumbra è una comunità energetica fondata ad Arroyomolinos de Leon (Huelva, Spagna), il cui obiettivo, promosso da Comune e associazioni civili, è assegnare alla popolazione rurale un ruolo specifico nella gestione di strutture di autoconsumo condivise e rendere l'energia un settore strategico per lo sviluppo e il coinvolgimento dei cittadini. CommonEn (Epiro, Grecia) mira a promuovere la democrazia energetica, ridurre i consumi e fare un uso sostenibile delle risorse energetiche locali; per raggiungere questi risultati la cooperativa si adopera per il coinvolgimento attivo della cittadinanza e il trasferimento delle conoscenze insieme con organizzazioni, Università e altre comunità energetiche all'estero. Entrambe le iniziative, pur sperimentando un approccio eco-sociale, restano operazioni legate a doppio filo alla condivisione e al commercio di energia elettrica, nate spesso e volentieri per risolvere problematiche tecniche legate alla geografia dei luoghi piuttosto che da uno stimolo evolutivo dei rapporti comunitari.

Il Gruppo di Ricerca ha studiato la possibilità di costituire Comunità Urbane Sostenibili a partire dagli edifici scolastici per l'istruzione superiore (Fig. 2), anche grazie all'accordo stipulato con l'Area Scuole della Città Metropolitana di Napoli. Lo studio, sviluppato anche nel progetto PRIN 2022 – FASTECH¹, ipotizza l'identificazione di tali comunità perimetrando secondo chiare logiche di raggi di influenza, bacini di utenza e risorse comuni gestibili.

In quest'ottica il paper illustra dapprima gli obiettivi della ricerca e la metodologia sperimentata per la creazione di Comunità Urbane Sostenibili, definendo criteri e indicatori per la valutazione di in-

terventi appropriati. Si descrivono a seguire il processo operativo per la stima della suscettività degli edifici pubblici a diventare fulcro di comunità energetiche, definite attraverso la mappatura delle ulteriori risorse nelle perimetrazioni individuate. Infine si riportano i risultati e le considerazioni sulla replicabilità del modello anche relativamente alle ricadute sociali ed economiche.

Obiettivi | In un contesto in cui l'edilizia rappresenta il settore maggiormente energivoro (JPI Urban Europe, 2020) l'efficiamento energetico dei comparti urbani costituisce un'azione chiave per l'ottimizzazione dei consumi e la riduzione delle emissioni inquinanti. Scopo dello studio è sviluppare una procedura per la progettazione di Comunità Urbane Sostenibili, considerando le attrezzature collettive come hub di gestione dell'energia, della sostenibilità e della salute dei cittadini, concepibile in reti spaziali interconnesse in grado di offrire servizi alla comunità e ingenerare impatti positivi a livello territoriale. A tal fine si intende fornire alle Amministrazioni locali un nuovo strumento per perimetrare comunità che possano condividere più risorse naturali (energia, acqua, vegetazione) e ottimizzare i consumi di energia operativa e le emissioni di gas serra.

A partire dall'implementazione di CER sugli edifici di Scuola superiore si punta a una strategia di mitigazione degli effetti del cambiamento climatico tramite la creazione di un sistema energetico competitivo e sostenibile. La Research Through Design confronta la performance energetica degli interventi ipotizzati sulla base di analisi effettuate a diverse scale, definendo le implicazioni relativamente a microclima urbano, vegetazione e gestione dell'acqua, per incoraggiare comportamenti virtuosi che contribuiscano alla creazione di comunità consapevoli degli effetti positivi della gestione collettiva delle proprie risorse.

Metodologia e fasi | Mutuando l'approccio intrapreso dalle Amministrazioni cittadine americane da diversi anni (Birch and Wachter, 2008) si mettono a punto processi di riqualificazione degli spazi pubblici per la tutela dell'ecosistema con criteri incentrati sull'integrazione di soluzioni ambientali. Il processo progettuale pilota ha previsto le fasi di analisi, progetto e verifica, ripetute ciclicamente per individuare le migliori soluzioni multiscale. Il caso di studio individuato è un'area nel Comune di Giugliano in Campania, attorno a un Istituto di istruzione superiore (Fig. 3), considerato come hub della Comunità (Fig. 4); l'area in esame è parte di un'urbanizzazione a bassa densità risalente ai primi anni '80 del Novecento, con il 44% di superfici permeabili.

Sulla scorta di una scoping review sul calcolo del potenziale energetico di una CER (Cielo et alii, 2021; Lazzeroni et alii, 2022) è stata implementata una nuova procedura per dimensionare comunità energetiche. Questa si compone di due fasi: il pre-dimensionamento, scaturito dall'identificazione dei rapporti costi-benefici relativi a ogni singolo edificio e la verifica, in cui si identifica, attraverso appositi indicatori, la soluzione che fornisce il miglior bilancio di energia. Nella fase di analisi si è effettuato il calcolo della quantità di energia producibile in un anno dall'impianto FV ipotizzato, del consumo dell'hub (fissato come costante nel periodo) e dei fabbisogni delle utenze domestiche.



Fig. 1 | UC Davis West Village (2018), designed by Studio E Architects (credit: Studio E Architects, 2018).

I valori di consumo energetico della Scuola e la quantità di energia producibile dall'impianto FV ipotizzato sono stati ricavati tramite il software di dimensionamento dei campi solari Blumatica Impianti Solari 2.0 (Tab. 1).

Il calcolo delle unità che possono usufruire dell'energia prodotta dall'impianto fotovoltaico ha utilizzato i profili di prelievo relativi alle utenze domestiche (GSE, 2022). Per mappare l'appartenenza delle unità alle comunità individuate, a partire dai dati ISTAT del 2021 è stato stimato il numero di Point of Delivery (POD) presenti in un edificio attraverso la relazione: $POD = P \times A$, dove: POD è il numero di POD in un edificio; P è la popolazione residente; A il numero di alloggi per residente (alloggi / residenti). L'applicazione delle relazioni matematiche alla base della procedura individuata identifica tre perimetrazioni della CER in funzione del risparmio economico (20%, 40% e 65%) in bolletta per ogni POD (Bosco, Giacobbe and Valente, 2023; Fig. 5). Confrontando quindi l'energia condivisibile all'interno della CER con quella producibile dall'impianto, tramite gli indicatori selezionati si è determinata la soluzione energeticamente più efficiente tra quelle più vantaggiose dal punto di vista economico (Fig. 6).

Le comunità energetiche attualmente costituite in Italia non prevedono necessariamente misure di efficientamento degli edifici coinvolti, siano essi hub o semplici consumatori. Lo studio non ha dunque ancora preso in considerazione i vantaggi derivanti da interventi di retrofit energetico degli edifici che, seppur frutto di iniziativa privata, contribuiscono alla riduzione dei consumi. Infatti si rileva che nella Città Metropolitana di Napoli, nel 2022, le misure di efficientamento energetico degli edifici hanno prodotto un risparmio di 29 GWh a fronte di una spesa media di € 150 per abitante (ENEA, 2022).

Si sono valutati i potenziali effetti della progettazione ambientale sul microclima locale per ottimizzare i consumi energetici della comunità nei periodi più critici: nelle analisi effettuate con il software di simulazione termo-fluidodinamica ENVI-met 5.6.1 non sono state riscontrate particolari criticità per il periodo invernale, mentre per quello estivo sono state individuate le aree dalle condizioni climatiche più sfavorevoli e, contestualmente, i picchi di consumi energetici (Fig. 7).

Le infrastrutture verdi forniscono servizi ecosistemici di varia natura, compresa quella energetica, dalla termoregolazione all'assorbimento degli

inquinanti presenti nell'aria e nell'acqua che solca le strade prima di confluire nel sottosuolo (Albert et alii, 2021; Clemente et alii, 2022). La posizione degli alberi e la loro distanza dagli edifici (18 metri circa) possono influenzare la quantità di energia utilizzata per condizionarli, riducendo le temperature dell'aria, la ventilazione e fornendo ombra (McPherson et alii, 1999; Fig. 8). Con il software i-Tree Eco 6.0 sono stati calcolati i benefici energetici e i servizi ecosistemici fornibili dagli alberi alla comunità, mentre in relazione agli aspetti idraulici è stato individuato il bacino idrografico sotteso alla massima espansione della comunità per ricavare il fabbisogno di raccolta e gestione di acqua piovana che le infrastrutture verdi dovranno garantire (Fig. 9).

Il progetto pilota | A partire dalle considerazioni di analisi, nel progetto pilota sono stati definiti interventi di miglioramento del comfort termico globale dell'area della comunità che impattano indirettamente sulla prestazione energetica degli edifici considerati (Campiotti et alii, 2018). Si è prevista la piantumazione di nuove specie arboree in base alle necessità di intervento (aumento dell'ombreggiatura, attenuazione dell'intensità del vento, drenaggio delle acque); per diminuire i valori di albedo si è previsto, inoltre, di sostituire le pavimentazioni esistenti scegliendo materiali di colore più chiaro, mentre per aumentare la permeabilità locale e la vegetazione sono state individuate aree in cui posizionare le tipologie di Green Stormwater Infrastructure (GSI) ritenute compatibili studiando le linee di deflusso delle acque. Gli spazi pubblici sono stati ripensati con fasce vegetali dimensionate in funzione della larghezza della sede stradale, migliorando il comfort degli utenti e incentivando la mobilità dolce con l'integrazione di piste ciclabili.

Nella fase di verifica il confronto delle soluzioni di metaprogetto attraverso i valori degli indicatori selezionati ha mostrato le performance energetiche e ambientali delle diverse soluzioni tecnologiche, definendo le prestazioni negli ambiti considerati (microclimatico, vegetazionale, idraulico) in chiave di efficienza energetica (Fig. 10).

L'intervento consiste principalmente nella riqualificazione degli spazi esterni e nell'incremento della copertura vegetale adeguati al contesto geografico e morfologico dell'area di intervento; nuovi serramenti e sistemi per la produzione di energia, invisibili dalla strada, non altereranno il paesaggio urbano circostante. All'applicazione di soluzioni specifiche per il sito si è preferito ragionare sull'elaborazione di modelli tipologici che possano guidare le Amministrazioni nell'applicazione di tali dispositivi. Le trasformazioni ipotizzate mirano a rinforzare strutturalmente la coesione della comunità, più che realizzare edifici formalmente più attraenti (Fig. 11).

Risultati | Le analisi effettuate hanno permesso di valutare le prestazioni della CER in tre configurazioni che comprendono da 272 a 622 unità abitative. Il Self-Consumption Index (SCI) definisce l'efficienza in funzione della quantità di energia rinnovabile consumata rispetto a quella producibile, stimata in valori del 57% per 272 unità servite, del 71% per 363 e del 96% per 622. Ne deriva che l'efficienza massima dell'impianto FV si ottiene con la configurazione che coinvolge il maggior nu-

mero di unità abitative (Fig. 6c). Il valore del Self-Sufficiency Index (SSI) calcolato per tale soluzione indica che l'energia rinnovabile copre il 36% del fabbisogno totale della comunità. Per quanto riguarda gli impatti ambientali derivanti dall'installazione e dall'utilizzo dell'impianto FV, il CO₂ Index definisce un risparmio di emissioni di CO₂eq pari all'81% (Fig. 12).

Le simulazioni termo-fluidodinamiche eseguite valutando le temperature registrate nel giorno più caldo del 2022 (28 giugno) mostrano miglioramenti significativi delle condizioni ambientali di progetto negli orari considerati, con un decremento fino al 15% del valore di PMV, fino a 1,5 °C nella temperatura potenziale dell'aria e fino a 3,4 °C nella temperatura superficiale.

Il progetto della componente vegetale prevede la piantumazione strategica di 268 nuovi alberi con un risparmio sui costi energetici degli edifici adiacenti di 1.610 €/anno, maggiore del 540% rispetto alle condizioni di partenza (162 alberi). Inoltre gli alberi aggiunti determinano un risparmio di emissioni di carbonio dalle centrali elettriche a combustibili fossili pari a circa 8 quintali (€ 129 CO₂eq).

Vengono anche ampliate le aree permeabili dell'81%, con un trascurabile incremento del tasso di umidità relativa (2%), generando un beneficio tangibile in termini di spazi verdi urbani fruibili e zone ombreggiate. Tali valori si traducono in un incremento degli indici RIE dello 0,74% e BAF del 4,5% nelle aree pubbliche e rispettivamente del 20% e 28% nel solo lotto della Scuola. Si riscontrano inoltre gli effetti positivi dell'aumento strategico del verde urbano sul comfort di fruizione dell'edificio scolastico: considerando la trasmittanza dei materiali delle tamponature e la temperatura esterna prima e dopo gli interventi, si evince una diminuzione naturale della temperatura interna della scuola di 0,6 °C.

La riprogettazione sostenibile della comunità valorizza i servizi ecosistemici, attribuendo un ruolo cruciale alle infrastrutture verdi e blu per la trasformazione del territorio. Le GSI, oltre ad aumentare la vegetazione nelle aree urbanizzate, offrono valide soluzioni per il drenaggio sostenibile e la gestione dell'acqua piovana, evitando dispendiose modifiche del sistema esistente. Il progetto di soluzioni tecniche e vegetali nelle GSI (Fig. 13) consente di raccogliere fino al 28% dell'acqua stimata durante una pioggia di 30 minuti con un intervallo di ritorno ventennale (Valente and Mozingo, 2023). L'affidamento della manutenzione di queste infrastrutture verdi alla comunità costituisce un ulteriore ambito di impegno condiviso e partecipazione attiva dei cittadini (Brignone, Cellamare and Simoncini, 2023): la gestione partecipata delle GSI diventa così un ulteriore tassello nel percorso di transizione ecologica verso luoghi più sani e sostenibili. Lo scambio di conoscenze, competenze e attività contribuisce alla tessitura della comunità, consolidandone i legami interni e il senso di identità locale.

Limiti, prospettive future e riflessioni conclusive | Il lavoro evidenzia, al momento, i benefici derivanti dalla gestione locale e integrata di energia, vegetazione e acqua attraverso la progettazione di sistemi eco-tecnologici nell'Italia meridionale, continuamente stimolato dal confronto con innovative e ambiziose esperienze nordamericane, al

netto delle rispettive differenze ambientali e normative.

L'utilizzo di tecnologie avanzate per l'efficiamento energetico comporta benefici ambientali ed economici la cui quantificazione, soprattutto dal punto di vista sociale, richiede una ulteriore raccolta di dati ottenibili coinvolgendo direttamente la popolazione e gli altri stakeholders (Fischer, 2021). In mancanza di tali informazioni si sono formulate ipotesi basate sulle mediane dei consumi energetici ricavate da portali di statistica e gestori energetici; studi dimostrano che anche la realizzazione di infrastrutture verdi comporta ritorni economici a medio-lungo termine e ulteriori benefici per la comunità (MATTM, 2014). Gli sviluppi della ricerca interdisciplinare PRIN 2022 comprenderanno valutazioni integrate di tali benefici connessi al retrofit energetico rapido degli edifici e l'individuazione di indicatori di prestazione, quali la creazione di 'green job', il livello di coinvolgimento della cittadinanza, i miglioramenti nella qualità della vita e il rafforzamento delle comunità.

In tale ottica sono stati somministrati questionari mirati ai responsabili delle CERS esistenti e in progetto per comprendere gli aspetti legati alle peculiarità del contesto, le dinamiche organizzative interne e le sfide operative affrontate da queste entità. Il primo gruppo di risposte registrate palesa ostacoli legati alla ancora scarsa competenza delle Amministrazioni locali nel fornire supporto alla costituzione delle comunità. D'altro canto si registrano anche incertezze in merito alla gestione a lungo termine delle CER, dopo l'interruzione degli incentivi economici: in merito si evince la volontà da parte degli stakeholders di ampliare le opportunità di condivisione all'interno delle comunità: dal momento che i temi della transizione ecologica e delle comunità energetiche sono trattati estensivamente anche all'interno del PNRR (Boulangier et alii, 2021), è necessario implementare strategie per l'abbattimento di tali barriere alla diffusione capillare delle CER.

Il confronto tra le realtà italiane e di oltreoceano, che proseguirà individuando gli ulteriori indicatori, evidenzia come il vantaggio temporale delle Amministrazioni statunitensi nel pianificare questo tipo di interventi abbia prodotto normative energetiche estremamente precise e modalità di finanziamento pubblico / privato snelle ed efficaci. Questi due elementi facilitano gli investimenti nel settore permettendo di realizzare operazioni che, al netto delle differenze legate a disponibilità di spazi e densità abitativa, sono tecnologicamente alla portata del nostro Paese.

Lo studio ha testato il potenziale dei tetti degli edifici scolastici pubblici per l'installazione di impianti di energia da fonti rinnovabili condivisa dalla comunità. Tuttavia questo approccio può essere ampliato sfruttando anche le superfici di altre aree pubbliche, come parcheggi e spazi aperti, per soddisfare quote ancora maggiori del fabbisogno energetico locale. Il protocollo permette una valutazione accurata del dimensionamento di tali impianti per massimizzare il potenziale di produzione e risparmio, per una pianificazione razionale degli investimenti. Gli interventi di retrofit degli edifici devono accompagnarsi a un ripensamento degli spazi pubblici in un'ottica di condivisione allargata delle risorse (Tucci and Cecafozzo, 2020; Tucci and Giampaletti, 2022; Tucci, Altamura and Panni, 2023). L'impiego di soluzioni di condivisione

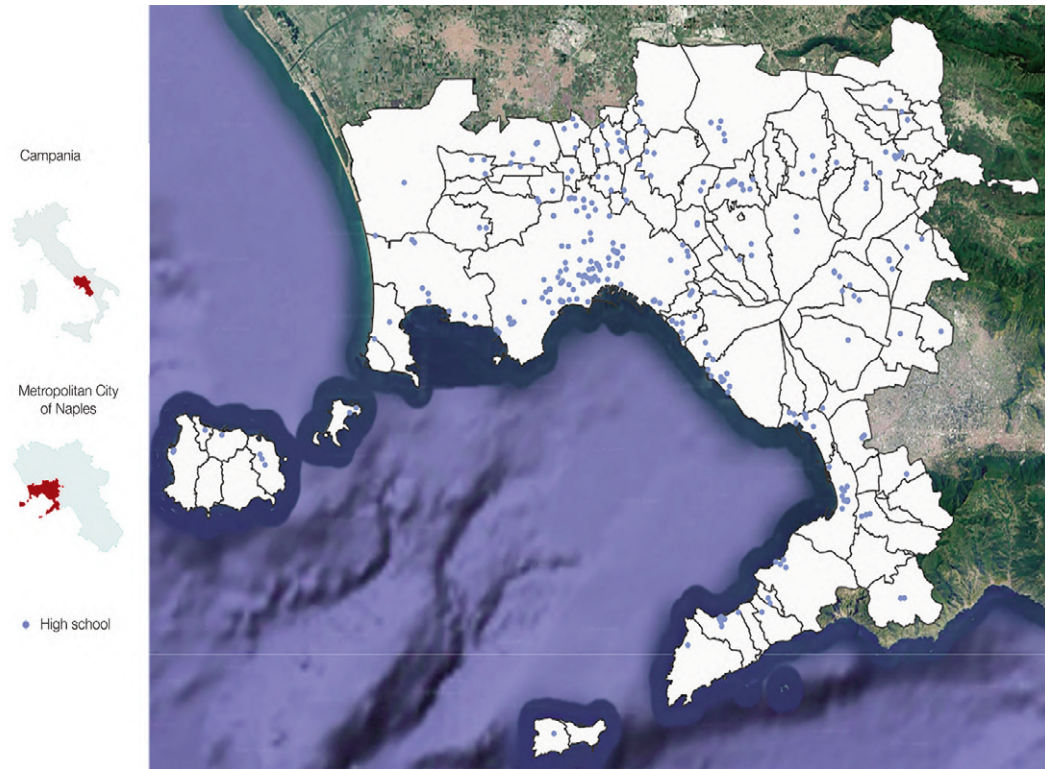
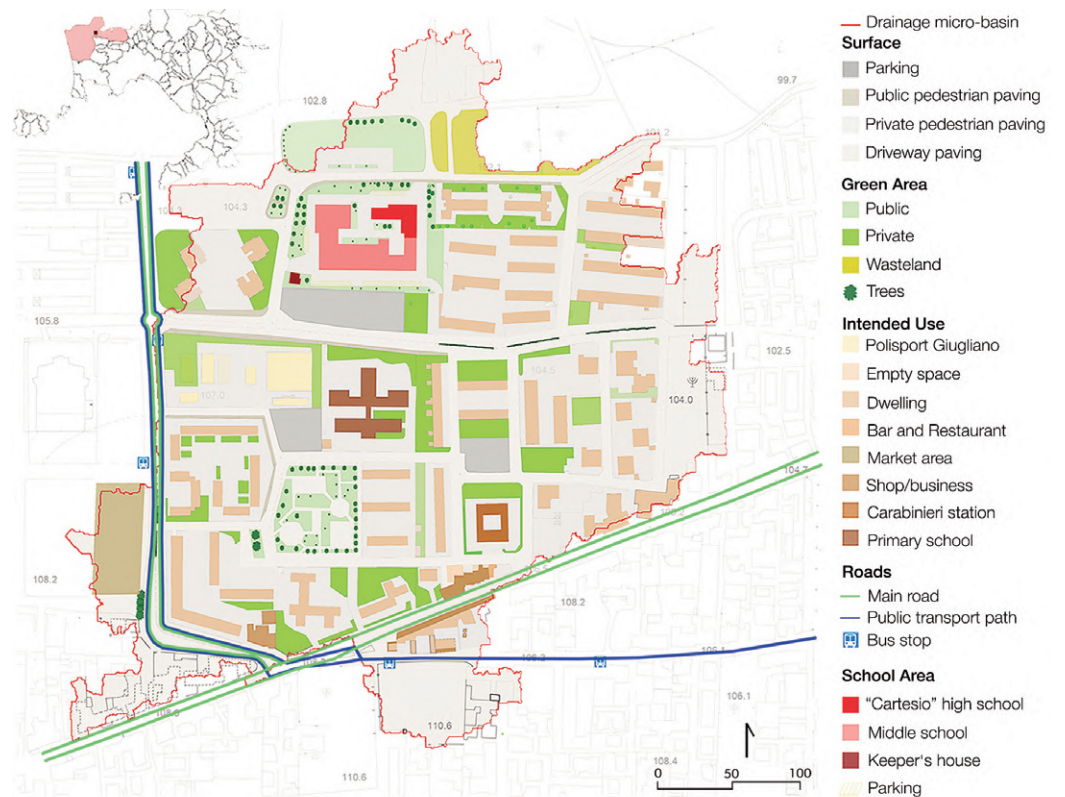


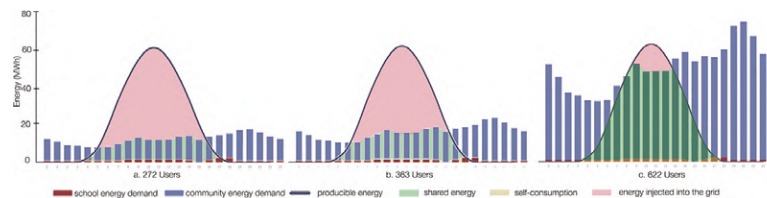
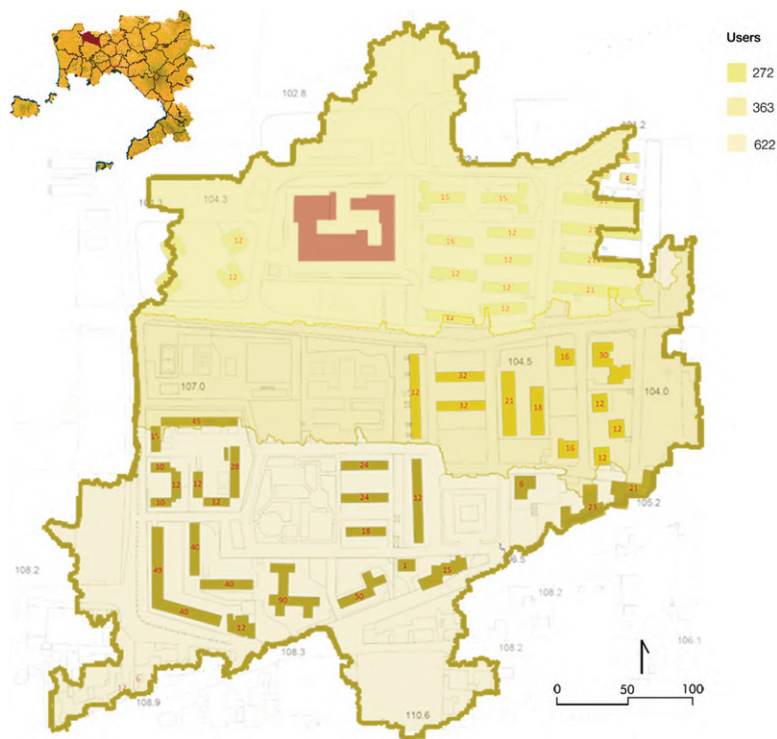
Fig. 2 | The Metropolitan City of Naples 'Schools Area' manages 292 school buildings for Higher Education in an area of 1,171 km squared, including 92 Municipalities (source: ediliziascolastica.regione.campania.it).



Fig. 3 | The School, hub of the case study (credit: the Authors, 2024).

Fig. 4 | Environmental analysis of the area delimited by the Renewable Energy Community (credit: the Authors, 2024).





User	Energy produced (MWh)	Energy injected (MWh)	Self-consumed energy (MWh)	Energy drawn from the grid (MWh)	Shared energy (MWh)	Energy injected and not shared (MWh)	Energy consumed (MWh)
a. 272 Users	467.1	435.6	31.5	237.1	237.1	198.5	268.5
b. 363 Users	467.1	435.6	31.5	299.2	299.2	136.4	330.6
c. 622 Users	467.1	435.6	31.5	415.9	415.9	19.7	447.3

Fig. 5 | Energy analysis of the study area with identification of the possible perimeters of the REC (credit: the Authors, 2024).

Fig. 6 | Analysis of the maximum efficiency of the PV system for 600 residential units (credit: the Authors, 2024).

Tab. 1 | Energy parameters as a function of the three perimeters.

e modelli di economia circolare può ampliare gli ambiti di scambio, superando la mera dimensione energetica. Il tempo, le competenze, i beni di consumo e gli spazi stessi possono essere oggetto di nuove forme di fruizione collettiva e gestione collaborativa.

Questo studio offre a studiosi, progettisti, politici e tecnici delle Amministrazioni locali una metodologia per la progettazione integrata di ambienti altamente sostenibili: ai fini dell'efficiamento energetico, il protocollo originale sperimenta criteri qualitativi per valutare efficacia, efficienza e impatto comunitario delle azioni di trasformazione delle attrezzature pubbliche in strutture performanti, adeguate alle rinnovate e specifiche esigenze locali. Il procedimento rappresenta uno strumento di diagnostica dello stato delle risorse replicabile in differenti configurazioni geografiche e urbane, e integra strumenti riconosciuti e affidabili per definire adeguati interventi migliorativi.

L'incremento della vegetazione a seguito del ridisegno degli spazi aperti secondo criteri di sostenibilità e di gestione delle acque meteoriche attraverso sistemi basati sulla natura può rappresentare la frontiera di un'evoluzione nella produzione edilizia dedicata che ne agevoli l'implementazione alla scala più diffusa. Le relazioni spaziali tra singole attrezzature diventano cruciali nell'organizzazione di un quadro di servizi in grado di generare benefici su parti più estese della città e del territorio (Marchigiani and Basso, 2021; Leone, Amirante and Sferratore, 2023).

È necessario un aggiornamento delle normative che consideri le attrezzature urbane come rete intelligente di supporto alla pianificazione di interventi strategici per il miglioramento dello stato delle risorse naturali. Ripensando le attrezzature urbane come catalizzatori di servizi integrati per gli abitanti si rivelano le grandi potenzialità di rigenerazione degli insediamenti esistenti; il rinnovamento pianificato a tale scala, a partire dal patrimonio pubblico, oltre che generare soluzioni adeguate alle specificità dei territori, può incoraggiare

la popolazione verso comportamenti virtuosi nella gestione delle risorse di comunità, dei servizi e dell'ambiente.

Solo attraverso un impegno collettivo, che integri l'innovazione tecnologica e la partecipazione attiva dei cittadini, sarà possibile raggiungere gli ambiziosi obiettivi di decarbonizzazione e di transizione verso un futuro energetico sostenibile.

The United Nations Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2022) has emphasised the crucial role of environmental justice in urban adaptation policies. Europe aims to be a global model in energy transition and carbon emission reduction, with a key focus on cities and buildings. In this direction, it has introduced Positive Energy Districts (PEDs) to reduce energy imports and carbon emissions in sustainable urbanisation, aspiring to increase renewable energy production (European Commission, 2019). On the one hand, such urban energy systems constitute a network with which users interact to meet the needs of the connected community (JPI Urban Europe, 2020); on the other hand, the social regeneration of cities originates from the community itself, based on principles of collaboration and shared responsibility between citizens and third-sector organisations (Ferrante, Romagnoli and Villani, 2023).

Renewable Energy Communities (RECs) define models to promote the transition to a competitive energy system (Antonazzi et alii, 2023) marked by decarbonisation, democratisation and decentralisation of the sector. In Italy, CER Decree no. 414 of 07/12/2023 (MASE, 2023) promotes the establishment and development of communities involving numerous users, allowing the installation of RES plants up to 1 MWp. Broadening the potential participation of buildings connected to the same primary substation increases the possibility of giving meaning, social value, and environmental effectiveness to the concept of energy communi-

ty, opening up scenarios of collective management of more resources (Otamendi-Irizar et alii, 2022). However, gaps in strategies and uneven development at the territorial and association levels still emerge in practice, generating uncertainties about scalability and replicability of projects.

Like unalienable resources to the community (water, health, education), considering energy distribution and management is typically a public duty, unified by general regulations. The quantities of equipment regulated by Interministerial Decree no. 1444 of 02/04/1968 (Ministero dei Lavori Pubblici and Ministero dell'Interno, 1968) define a tangible and symbolic space for the community in which significant processes of renewal of the existing city can be initiated (Renzoni et alii, 2021; D'Ambrosio and Sgobbo, 2023). The services provided must fulfil the material and immaterial needs of a community (Solarino, 2008), defining the character or main purpose of a settlement. This perspective suggests overcoming an isolated reading of urban spaces and services, legislatively defined only in quantitative terms, reconsidering them as connected spatial systems capable of distributing resources and providing integrated services to inhabitants.

In Italy, examples of RECs such as Magliano Alpi (CN) and Montelabbate (PU) and the CERS in San Nicola da Crissa (VV), set up for public buildings, show the possibility, initiated by the energy

Next page

Fig. 7 | Analysis of the microclimate: the areas with the greatest critical issues were found through the in-depth study of the thermo-fluid-dynamic simulations using the ENVI-met software (credit: the Authors, 2024).

Fig. 8 | Vegetation analysis (credit: the Authors, 2024).

Fig. 9 | Hydraulic analysis: drainage basins on public land according to the flow lines (credit: the Authors, 2024).

Fig. 10 | Performance indicators identified for the energy-environmental upgrading of the case study (credit: Authors, 2024).

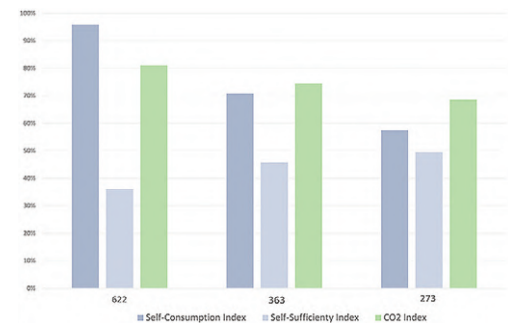
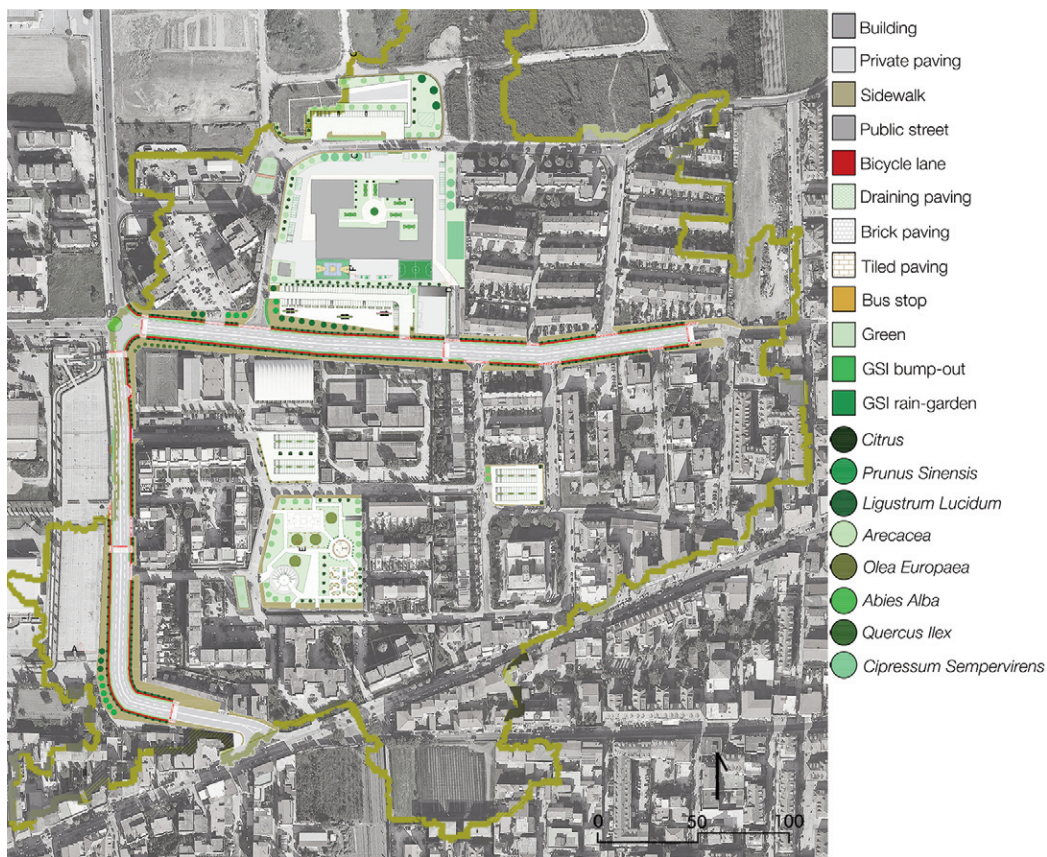
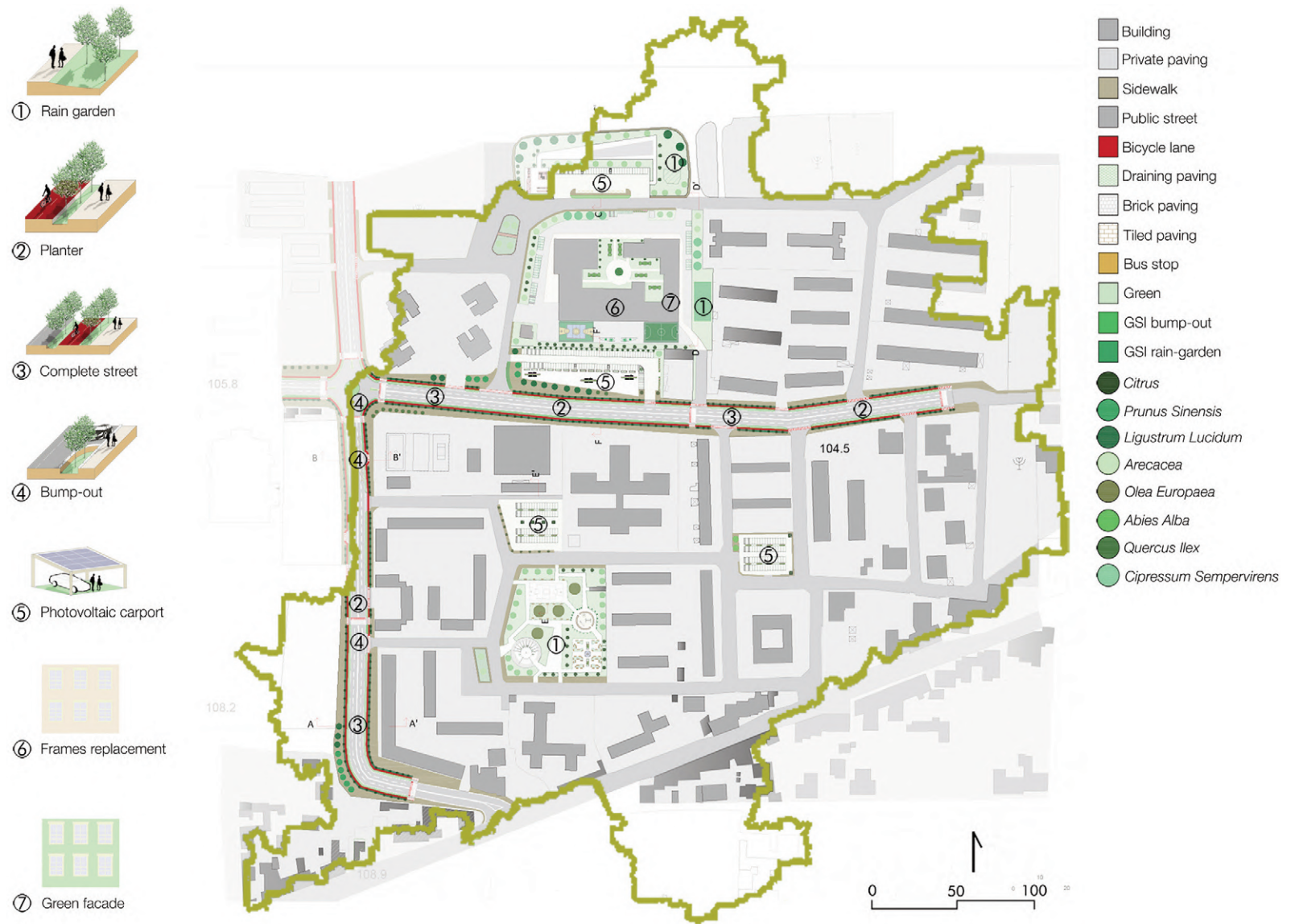


Fig. 11 | Pilot area project (credit: the Authors, 2024).

Fig. 12 | Energy Indicator Values (credit: the Authors, 2024).

Fig. 13 | Abacus of solutions for the pilot area project (credit: the Authors, 2024).

Objectives | In a context in which buildings represent the most energy-intensive sector (JPI Urban Europe, 2020), energy efficiency in urban neighbourhoods is a key action for optimising consumption and reducing pollutant emissions. The study aims to develop a procedure for the design of Sustainable Urban Communities, considering collective facilities as hubs of energy management, sustainability, and citizen health, conceiving them in interconnected spatial networks capable of providing community services and ingenerating positive impacts at the territorial level. This is done by providing local governments with a new tool to define communities that can share multiple natural resources (energy, water, vegetation) and optimise operational energy consumption and greenhouse gas emissions.

Beginning with the implementation of RECs directed to High School buildings, the focus is on a strategy to mitigate the effects of climate change by creating a competitive and sustainable energy system. Research Through Design compares the energy performance of the hypothesised interventions based on analysis at different scales, defining the implications with respect to urban microclimate, vegetation and water management and encouraging virtuous behaviours that contribute to the creation of communities aware of the positive effects of the collective management of their resources.

Methodology and phases | Borrowing the approach taken by U.S. city governments for several years (Birch and Wachter, 2008), criteria focused on integrating environmental solutions define processes for redeveloping public spaces to enhance and protect ecosystems. The pilot design process included the phases of analysis, design and verification, reiterated to identify the best multi-purpose solutions. The case study is located in the Municipality of Giugliano (Italy), around an Institute of Higher Education (Fig. 3), considered a community hub (Fig. 4). The area around the school is part of a low-density urbanisation dating back to the early 1980s, with 44% permeable surfaces.

Based on a scoping review on calculating the energy potential of a REC (Cielo et alii, 2021; Lazzeroni et alii, 2022), the study implemented a new procedure for sizing energy communities. This consists of two stages: pre-dimensioning, arising from identifying cost-benefit ratios related to each building, and verification, in which the solution that provides the best energy balance is identified through appropriate indicators. In the analysis phase, calculations determined the amount of energy that can be produced in one year by the assumed PV system, the hub's consumption (set as constant over the period), and the needs of the household users. The school's energy consumption values and the amount of energy the assumed PV system can produce were derived using the solar field sizing software Blumatica Solar Systems 2.0 (Tab. 1).

The calculation of the units that can take advantage of the energy produced by the PV system used the withdrawal profiles for households (GSE, 2022). To map the membership of the units in the identified communities, the number of Points of Delivery (PODs) in a building was estimated from the 2021 ISTAT data through the relationship: $POD = P \times A$, where POD is the number of PODs in a building, P is the resident population,

and A is the number of housing units per resident (housing / residents). The application of the mathematical relationships underlying the identified procedure identified three perimeters of the REC as a function of utility bill savings (20%, 40%, and 65%) for each POD (Bosco, Giacobbe and Valente, 2023; Fig. 5). By then comparing the shareable energy within the REC with the energy that the plant can produce, the most energy-efficient of the cost-effective solutions was determined through the selected indicators (Fig. 6).

The energy communities currently established in Italy do not necessarily include efficiency measures for the comprised buildings, whether they are hubs or mere consumers. Thus, the study still needs to take into account the benefits of building energy retrofit measures that, although the result of private initiatives, contribute to reducing consumption. In fact, in the Metropolitan City of Naples, in 2022, building energy efficiency measures produced savings of 29 GWh against an average expenditure of € 150 per inhabitant (ENEA, 2022).

The potential effects of environmental design on the local microclimate were evaluated to optimise community energy consumption during the most critical periods. In the analyses carried out with the thermo-fluid dynamics simulation software ENVI-met 5.6.1, no particular criticality exists for the winter period, while for the summer period, it identified areas with the most unfavourable climatic conditions and, concomitantly, peak energy consumption (Fig. 7).

Green infrastructure provides ecosystem services of various kinds, including energy, from thermoregulation to the absorption of pollutants in the air and water that run through roads before flowing underground (Albert et alii, 2021; Clement et alii, 2022). The location of trees and their distance from buildings (about 18 meters) can influence the amount of energy used to condition them, reducing air temperatures, ventilation, and providing shade (McPherson et alii, 1999; Fig. 8). The i-Tree Eco 6.0 software calculated the energy benefits and ecosystem services that trees can provide to the community, while in relation to hydrology, the catchment area underlying the maximum expansion of the community establishes the rainwater harvesting and management that needs to be provided by the green infrastructure (Fig. 9).

The pilot project | Starting from the analysis, the pilot project defines the interventions to improve the overall thermal comfort of the community area that indirectly impact the energy performance of the site buildings (Campiotti et alii, 2018). The planting of new tree species plans for increased shading, mitigation of wind intensity, and water drainage. To decrease albedo values, lighter-coloured materials replace existing pavements, while to increase local permeability and vegetation, runoff flows determined the placement of compatible Green Stormwater Infrastructure (GSI). Public spaces include vegetated belts sized according to the width of the roadway, improving user comfort, and encouraging soft mobility with the integration of bicycle lanes.

In the testing phase, the comparison of the meta-project solutions through the values of the selected indicators shows the energy and environmental performance of the various technological solutions, defining the performance in the

study areas (microclimatic, vegetation, hydraulic) in terms of energy efficiency (Fig. 10).

The project mainly consists of upgrading outdoor spaces and increasing the vegetation cover appropriate to the geographical and morphological context of the intervention area. New windows and doors and energy production systems, invisible from the street, will not alter the surrounding urban landscape. The systematic application of site-specific solutions can suggest typological models to guide local authorities in applying such devices. The hypothesised transformations aim to structurally reinforce community cohesion, before realising more formally attractive buildings (Fig. 11).

Results | The analyses carried out assessed the performance of the REC in three configurations comprising 272 to 622 housing units. The Self-Consumption Index (SCI) defines efficiency as a function of the amount of renewable energy consumed versus the amount of renewable energy that can be produced, estimated to be 57% for 272 units served, 71% for 363, and 96% for 622². It follows that the maximum efficiency of the PV system is obtained with the configuration involving the largest number of housing units (Fig. 6c). The Self-Sufficiency Index (SSI) value calculated for this solution indicates that renewable energy covers 36% of the total needs of the community. About the environmental impacts of installing and using the PV system, the CO₂ Index defines a CO₂eq emission savings of 81% (Fig. 12).

Thermo-fluid dynamics simulations conducted by inputting the temperatures recorded on the hottest day of 2022 (June 28) show significant improvements in environmental conditions at peak hours, with a decrease of up to 15% in the PMV value, up to 1.5 °C in the potential air temperature, and up to 3.4 °C in the surface temperature. The design of the vegetation component involves the strategic planting of 268 new trees with energy cost savings from adjacent buildings of € 1,610/year, 540% greater than the baseline conditions (162 trees). In addition, the added trees result in carbon emission savings from fossil fuel power plants of about eight quintals (€ 129 CO₂eq).

Permeable areas increase by 81%, with a negligible increase in relative humidity (2%), generating a tangible benefit in terms of usable urban green spaces and shaded areas. These values translate into an increase in RIE indices of 0.74% and BAF of 4.5% in public areas and 20% and 28% in the school site alone, respectively. The positive effects of the strategic increase of urban greenery extend the thermal comfort of the school building fruition. Considering the transmittance of building materials and the outdoor temperature before and after the interventions infers a natural decrease in the school's indoor temperature of 0.6 °C.

Sustainable community redesign enhances ecosystem services, giving a crucial role to green and blue infrastructure for land transformation. In addition to increasing vegetation in urbanised areas, GSIs offer valuable solutions for sustainable drainage and stormwater management, avoiding costly modifications to the existing system. The design of technical and vegetation solutions in GSIs (Fig. 13) allows the collection of up to 28% of the estimated water during a 30-minute rainfall with a 20-year return interval (Valente and Mozingo

go, 2023). Entrusting the maintenance of these green infrastructures to the community is another area of shared commitment and active citizen participation (Brignone, Cellamare and Simoncini, 2023). The participatory management of GSIs thus becomes an additional piece in the path of ecological transition to healthier and more sustainable places. The exchange of knowledge, skills and activities contributes to the weaving of the community, strengthening its internal ties and sense of local identity.

Limits, future prospects and concluding considerations | The work currently highlights the benefits of local and integrated management of energy, vegetation and water through the design of eco-technological systems in Southern Italy, continually stimulated by comparison with innovative and ambitious North American practices, notwithstanding their respective environmental and regulatory differences.

The use of advanced technologies for energy efficiency brings environmental and economic benefits, the quantification of which, especially from a social point of view, requires further data collection obtainable by directly involving the population and other stakeholders (Fischer, 2021). Without this information, assumptions have been made based on medians of energy consumption obtained from statistics websites and energy managers. Moreover, studies show that implementing green infrastructure also brings medium- to long-term economic returns and additional community benefits (MATTM, 2014). Developments in PRIN 2022 interdisciplinary research will include integrated assessments of these benefits related to rapid energy retrofits of buildings and the identification of additional performance indicators, including the creation of 'green jobs', the level of citizen involvement, improvements in quality of life, and community empowerment.

In this light, targeted questionnaires were administered to the heads of existing and planned RESCs to understand aspects related to the peculiarities of their contexts, internal organisational dynamics, and operational challenges faced by

these entities. The first group of responses reveals obstacles related to the current low competence of local governments in providing support for renewable energy community establishment. There are also uncertainties regarding the long-term management of RECs after the discontinuation of economic incentives. In this regard, there is evidence of a willingness on the part of stakeholders to expand opportunities for sharing within communities. Since the issues of ecological transition and energy communities are also addressed extensively within the PNRR (Boulanger et alii, 2021), there is a need to implement strategies for breaking down these barriers to the widespread deployment of RECs.

The comparison between the Italian and international conditions, which will continue by identifying further indicators, highlights how the USA's temporal advantage in planning this type of intervention has produced extremely precise energy regulations and streamlined and effective public / private financing methods. These two elements facilitate investments in the sector, allowing for operations that, regardless of the differences linked to available space and population density, are technologically within our country's reach.

The study tests the potential of public school building roofs for installing community-shared renewable energy systems. Notably, this approach can be expanded by exploiting the surfaces of other public areas, such as car parks and open spaces, to satisfy even larger shares of local energy needs. The protocol allows an accurate evaluation of the sizing of these systems to maximise the production and saving potential, for rational investment planning. Building retrofit interventions must be accompanied by a rethinking of public spaces with a view to broader sharing of resources (Tucci and Cecafofso, 2020; Tucci and Giampaoletti, 2022; Tucci, Altamura and Pani, 2023). The use of sharing solutions and circular economy models can expand the exchange areas, going beyond the mere energy dimension. Time, skills, consumer goods, and spaces can be the object of new forms of collective use and collaborative management.

This study offers scholars, designers, politicians, and technicians of local administrations a methodology for the integrated design of highly sustainable environments: for the purposes of energy efficiency, the original protocol experiments with qualitative criteria to evaluate the effectiveness, efficiency and community impact of the transformation of public buildings into high-performance structures, adapted to renewed and specific local needs. The procedure represents a diagnostic tool for the state of resources that can be replicated in different geographical and urban configurations, which integrates recognised and reliable tools to define adequate improvement interventions.

The increase in vegetation following the redesign of open spaces according to sustainability criteria and rainwater management through nature-based systems can represent the frontier of an evolution in dedicated building production that facilitates its implementation on the most widespread scale. The spatial relationships between individual equipment become crucial in organising a framework of services that generates benefits over larger parts of the city and territory (Marchigiani and Basso, 2021; Leone, Amirante and Sferratore, 2023).

A regulatory update is necessary considering the urban built environment as an intelligent network to support the planning of strategic interventions to improve the state of natural resources. Rethinking urban facilities as catalysts of integrated services for inhabitants reveals the great potential to regenerate existing settlements. In addition to generating solutions suited to territorial specificities, renewal planned on this scale, starting from public sites, can encourage the population towards virtuous behaviour in managing community resources, services, and the environment.

Only through a collective commitment, integrating technological innovation and citizen participation, will it be possible to achieve the ambitious objectives of decarbonisation and transition towards a sustainable energy future.

Acknowledgements

The contribution is the result of the joint work of the Authors; conceptualisation: R. Valente and L. A. Mozingo; methodology: R. Valente, L. A. Mozingo, R. Bosco and S. Giacobbe; software: S. Giacobbe; validation: R. Bosco; investigation: R. Bosco, S. Giacobbe; resources: R. Bosco; data care: S. Giacobbe; writing and preparation of the original draft: R. Valente, L. A. Mozingo, R. Bosco and S. Giacobbe; review and editing: R. Valente and L. A. Mozingo; viewing: R. Bosco and S. Giacobbe; supervision: R. Valente and L. A. Mozingo. We thank the architects of the Technical Directorate for Schools of the Metropolitan City of Naples, A. Marciano, D. D'Esposito and P. Parravicini for their collaboration. All Authors have read and approved the published version of the manuscript. All images are the result of processing by the working group.

Funding

This research and the APC were funded by European Union EU – Next Generation EU, Ministero dell'Università

e della Ricerca (Italy), Italia domani – Piano di Ripresa e Resilienza, Missione 4 – 'Istruzione e Ricerca', grant number PRIN2022 A4XFPR, Title 1 – 'FASTECH a model for rapid technological building retrofit to cut energy demand and GHG emissions of housing Toward renewable energy self-consumption and the smart energy communities', 'Luigi Vanvitelli' University of Campania.



Notes

1) PRIN 2022 Research entitled 'FASTECH a model for rapid technological building retrofit to cut energy demand and GHG emissions of housing Toward renewable energy self-consumption and the smart energy communities'; Principal Investigator: F. Tucci; Head of the Research Unit of the 'Luigi Vanvitelli' University of Campania: R. Valente.

2) A 100% SCI defines a community's ability to consume virtually all the renewable energy produced within it (Cielo et alii, 2021).

References

- Albert, C., Brillinger, M., Guerrero, P., Gottwald, S., Henze, J., Schmidt, S., Ott, E. and Schröter, B. (2021), "Planning nature-based solutions – Principles, steps, and insights", in *Ambio*, vol. 50, pp. 1446-1461. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s13280-020-01365-1 [Accessed 18 March 2024].
- Antonazzi, E., Di Lorenzo, G., Stracqualursi, E. and Araneo, R. (2023), "Renewable Energy Communities for Sustainability – A Case Study in the Metropolitan Area of Rome", in *2023 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2023 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe)*, 6-9 June 2023, IEEE, pp. 1-6. [Online] Available at: doi.org/10.1109/EEEIC/ICPSEurope57605.2023.10194850 [Accessed 18 March 2024].
- Birch, E. and Wachter, S. M. (2008), *Growing greener cities – Urban sustainability in the twenty-first century*, University of Pennsylvania Press, Philadelphia.
- Bosco, R., Giacobbe, S., Losco, S. and Valente, R. (2023), "Towards Site-Specific Energy Communities – Method-

ological Issues from the Case of The Metropolitan City of Naples”, in *Proceedings of 2nd International Conference on Construction, Energy, Environment and Sustainability – CEES 2023*, PRT, pp. 1-8.

Bosco, R., Giacobbe, S. and Valente, R. (2023), “The Chance for RESC in Italy – Study for A Sizing Model”, in *11th European Conference on Renewable Energy Systems – ECRES 2023*, TUR, pp. 276-282.

Boulanger, S. O. M., Massari, M., Longo, D., Turillazzi, B. and Nucci, C. A. (2021), “Designing Collaborative Energy Communities – A European Overview”, in *Energies*, vol. 14, issue 24, article 8226, pp. 1-17. [Online] Available at: doi.org/10.3390/en14248226 [Accessed 18 March 2024].

Brignone, L., Cellamare, C. and Simoncini, S. (2023), “Reti sociali, tecnologie civiche e infrastrutture verdi – Il caso della progettazione partecipata della Corona Verde di Roma Est”, in Zoppi, C. and Musco, F. (eds) *Conoscenza Materiale e Immateriale e Gestione delle Informazioni | Atti della XXIV Conferenza Nazionale SIU – Dare valore ai valori in urbanistica, Brescia, 23-24 giugno, 2022*, vol. 2, Planum Publisher and Società Italiana degli Urbanisti, pp. 103-109. [Online] Available at: planum.bedita.net/planum-magazine/planum-publisher-publication/atti-della-xxiv-conferenza-nazionale-siu-volume-due-zoppi-musco [Accessed 18 March 2024].

Cielo, A., Margiaria, P., Lazzeroni, P., Mariuzzo, I. and Repetto, M. (2021), “Renewable Energy Communities business models under the 2020 Italian regulation”, in *Journal of Cleaner Production*, vol. 316, article 128217, pp. 1-11. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128217 [Accessed 18 March 2024].

Campioti, C. A., Giagnacovo, G., Latini, A., Margiotta, F., Nencini, L., Pazzola, L. and Scoccianti, M. (2018), *L'uso della vegetazione per aumentare l'efficienza energetica degli edifici e l'impiego di sistemi di climatizzazione rinnovabile*, Report RdS/PAR2018/107. [Online] Available at: www2.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/adp-mise-enea-2015-2017/edifici-intelligenti/report-2018/rds-par2018-107.pdf [Accessed 18 March 2024].

Clemente, C., Palme, M., Mangiatordi, A., La Rosa, D. and Privitera, R. (2022), “Il verde urbano nella riduzione dei carichi di raffrescamento – Simulazioni nel clima Mediterraneo | Urban green areas in the reduction of cooling loads – Simulations in the Mediterranean climate”, in *Agathón / International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 11, pp. 182-191. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/11162022 [Accessed 18 March 2024].

D'Ambrosio, V. and Sgobbo, A. (2023), “Renewable Energy Community – Un'opportunità di rigenerazione energetica ed eco-sociale per i quartieri ERP | Renewable Energy Community – An eco-social urban regeneration opportunity for PH districts”, in *Techne / Journal of Technology for Architecture and Environment*, vol. 26, pp. 184-194. [Online] Available at: doi.org/10.36253/techne-14470 [Accessed 18 March 2024].

ENEA (2023), *Rapporto Annuale Efficienza Energetica 2023 – Schede regionali*. [Online] Available at: efficienza-energetica.enea.it/vi-segnaliamo/rapporto-annuale-efficienza-energetica-2023-schede-regionali.html [Accessed 21 April 2024].

European Commission (2019), *Going climate-neutral by 2050 – A strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate-neutral EU economy*. [Online] Available at: op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/92f6d5bc-76bc-11e9-9f05-01aa75ed71a1 [Accessed 18 March 2024].

Ferrante, T., Romagnoli, F. and Villani, T. (2023), “Sviluppo urbano sostenibile – Organizzazione di contenuti informativi per la transizione verso i Distretti a Energia Positiva | Sustainable urban development – Organizing information content for the transition to Positive Energy Districts”, in *Agathón / International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 13, pp. 191-204. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/13162023 [Accessed 18 March 2024].

Fischer, E. (2021), “Vulnerabilità sociale – Indici, indicatori e metodologie a confronto”, in Brunetta, G., Caldarice, O., Russo, M. and Sargolini, M. (eds), *Resilienza nel governo del territorio | Atti della XXIII Conferenza Nazionale SIU – Downscaling, Rightsizing – Contrazione demografica e riorganizzazione sociale, Torino, 17-18 giugno 2021*, vol. IV, Planum Publisher and Società Italiana degli Urbanisti, pp. 71-81. [Online] Available at: planum.bedita.net/planum-magazine/planum-publisher-publication/atti-della-xxiii-conferenza-nazionale-siu-volume-quattro [Accessed 18 March 2024].

GSE – Gestore dei Servizi Energetici (2022), *Gruppi di autoconsumatori di energia rinnovabile che agiscono collettivamente e Comunità di Energia Rinnovabile – Modalità di profilazione dei dati di misura e relative modalità di utilizzo ai sensi dell'articolo 9 dell'Allegato A alla Delibera 318/2020/R/eel*. [Online] Available at: nextville.it/repository/reteambiente/normativa/47866_regole_tecniche_11_aprile_2022.pdf [Accessed 18 March 2024].

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2022), *Climate change 2022 – Impacts, adaptation, and vulnerability – Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [Online] Available at: ipcc.ch/report/ar6/wg2/ [Accessed 18 March 2024].

JPI Urban Europe – SET Plan Action 3.2 (2020), *White Paper on PED Reference Framework for Positive Energy Districts and Neighbourhoods*, Austrian Research Promotion Agency, Vienna. [Online] Available at: jpi-urban-europe.eu/wp-content/uploads/2020/04/White-Paper-PED-Framework-Definition-2020323-final.pdf [Accessed 18 March 2024].

Lazzeroni, P., Lorenti, G., Moraglio, F. and Repetto, M. (2022), “Modeling of renewable energy communities – The RECoupled approach, in 2022 IEEE 46th Annual Computers, Software, and Applications Conference (COMPSAC), pp. 1349-1354. [Online] Available at: ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9842624 [Accessed 22 April 2024].

Legambiente (2022), *Comunità Rinnovabili – Il ruolo di sole, vento, acqua, terra nel raggiungimento degli obiettivi climatici e lo sviluppo dei nuovi modelli energetici nel territorio per una transizione equa e solidale*. [Online] Available at: legambiente.it/comunicati-stampa/legambiente-presenta-comunita-rinnovabili-2022/ [Accessed 18 March 2024].

Leone, M. F., Amirante, R. and Sferratore, A. (2023), “Comunità energetiche rinnovabili come architetture pubbliche e infrastrutture socio-ecologiche | Renewable energy communities as public architectures and socio-ecological infrastructures”, in *Techne / Journal of Technology for Architecture and Environment*, vol. 26, pp. 173-183. [Online] Available at: doi.org/10.36253/techne-14481 [Accessed 18 March 2024].

Marchigiani, E. and Basso, S. (2021), “Questioni di accessibilità – Gli standard per un progetto di formazioni urbane più sane e inclusive”, in Baioni, M., Basso, S., Caudo, G., Franzese, A., Marchigiani, E., Munarin, S., Renzoni, C., Savoldi, P., Tosi, M. C. and Vazzoler, N. (eds), *Diritti in città – Gli standard urbanistici in Italia dal 1968 a oggi*, Donzelli Editore, Roma, pp. 43-54.

MASE – Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (2023), “Decreto n. 414 del 7 dicembre 2023 – Individuazione di una tariffa incentivante per impianti a fonti rinnovabili inseriti in comunità energetiche rinnovabili e nelle configurazioni di autoconsumo singolo a distanza e collettivo, in attuazione del decreto legislativo 8 novembre 2021, n.199 e in attuazione della misura appartenente alla Missione 2, Componente del 2, Investimento 1.2 del PNRR (24A00671)”, in *Gazzetta Ufficiale*, Serie Generale n. 31 del 07/02/2024. [Online] Available at: gazzettaufficiale.it/eli/id/2024/02/07/24A00671/sg#:~:text=414%20del%207%20dicembre%202023,legislativo%208%20novembre%202021%2C%20n [Accessed 18 March 2024].

McPherson, E. G., Simpson, J. R., Peper, P. J. and Xiao, Q. (1999), “Benefit-cost analysis of Modesto's municipal urban forest”, in *Journal of Arboriculture*, vol. 25, issue 5, pp. 235-248. [Online] Available at: fs.usda.gov/psw/top-

ics/urban_forestry/products/cufr_36_Modesto%20JOA.pdf [Accessed 18 March 2024].

Ministero dei Lavori Pubblici and Ministero dell'Interno (1968), “Limiti inderogabili di densità edilizia, di altezza, di distanza fra i fabbricati e rapporti massimi tra spazi destinati agli insediamenti residenziali e produttivi e spazi pubblici o riservati alle attività collettive, al verde pubblico o a parcheggi da osservare ai fini della formazione dei nuovi strumenti urbanistici o della revisione di quelli esistenti, ai sensi dell'art. 17 della legge 6 agosto 1967, n. 765 (1288Q 004)”, in *Gazzetta Ufficiale*, Serie Generale n. 97 del 16/04/1968. [Online] Available at: gazzettaufficiale.it/eli/gu/1968/04/16/97/sg/pdf [Accessed 18 March 2024].

Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (2014), *Le infrastrutture verdi, i servizi ecosistemici e la green economy – Il processo partecipativo della Conferenza 'La Natura dell'Italia', Roma 11-12 dicembre 2013*. [Online] Available at: comitatoscientifico.org/temi%20CG/documents/MATTM%20IV%20310314.pdf [Accessed 18 March 2024].

Moghaddasi, H., Culp, C. and Vanegas, J. (2021), “Net Zero Energy Communities – Integrated Power System, Building and Transport Sectors”, in *Energies*, vol. 14, issue 21, article 7065, pp. 1-33. [Online] Available at: doi.org/10.3390/en14217065 [Accessed 18 March 2024].

Otamendi-Irizar, I., Grijalba, O., Arias, A., Pennese, C. and Hernández, R. (2022), “How can local energy communities promote sustainable development in European cities?”, in *Energy Research & Social Science*, vol. 84, article 102363, pp. 1-15. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.erss.2021.102363 [Accessed 18 March 2024].

Renzoni, C., Federica, R., Savoldi, P. and Turi, P. G. (2021), “Reclaim the street, reclaim the school – Lo spazio urbano delle scuole tra urbanistica, mobilità e istruzione”, in Giaino, C., Tosi, M. C. and Voghera, A. (eds), *Tecniche urbanistiche per una fase di decrescita | Atti della XXIII Conferenza Nazionale SIU – Downscaling, Rightsizing – Contrazione demografica e riorganizzazione sociale, Torino, 17-18 giugno 2021*, vol. I, Planum Publisher and Società Italiana degli Urbanisti, pp. 101-107. [Online] Available at: planum.bedita.net/atti-della-xxiii-conferenza-nazionale-siu-volume-uno [Accessed 18 March 2024].

Solarino, A. (2008), “Servizi”, in Mattogno, C. (ed.), *Ventuno parole per l'urbanistica*, Carocci, Roma, pp. 273-288.

Tucci, F., Altamura, P. and Pani, M. M. (2023), “Modulare le dinamiche urbane in chiave climatica – Spazi intermedi e neutralità climatica | Modulating urban dynamics from a climate perspective – In-between spaces and climate neutrality”, in *Agathón / International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 14, pp. 204-215. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/14172023 [Accessed 18 March 2024].

Tucci, F. and Cecafofso, V. (2020), “Retrofitting dello spazio pubblico per la qualità ambientale ed ecosistemica di città più Green | Retrofitting public space for the environmental and ecosystem quality of greener cities”, in *Techne / Journal of Technology for Architecture and Environment*, vol. 19, pp. 256-270. [Online] Available at: doi.org/10.13128/techne-7827 [Accessed 18 March 2024].

Tucci, F. and Giampaolletti, M. (2022), “Soluzioni green per la sottrazione e lo stoccaggio di carbonio nei distretti urbani | Green solutions for removing and storing carbon in urban districts”, in *Agathón / International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 11, pp. 202-213. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/11182022 [Accessed 18 March 2024].

Valente, R. and Mozingo, L. A. (eds) (2023), *Interazioni ambientali urbane – Sul progetto di una rete di green street*, CLEAN Edizioni, Napoli.

Zhang, Z., Stevenson, K., Martin, K. and Yao, Y. (2020), *Green Infrastructure in Schools – Creating a Network for Stormwater Management and Student Engagement and Well-being*, NC Water Resources Research Institute, Report No. 486. [Online] Available at: repository.lib.ncsu.edu/server/api/core/bitstreams/302de7e4-809d-4645-bba9-b1d5-ac45ec97/content [Accessed 18 March 2024].

ARTICLE INFO

Received	18 March 2024
Revised	16 April 2024
Accepted	23 April 2024
Published	30 June 2024

TRANSIZIONE ENERGETICA E CIRCOLARE DEL PATRIMONIO INDUSTRIALE

Il caso dell'ex SNIA a Roma

ENERGY AND CIRCULAR TRANSITION OF THE INDUSTRIAL HERITAGE

The Ex SNIA case in Rome

Serena Baiani, Paola Altamura, Gaia Turchetti, Giada Romano

ABSTRACT

Il contributo presenta gli esiti di attività di ricerca incentrate sui siti dismessi del patrimonio industriale intesi come risorsa strategica per la transizione energetica e circolare, attraverso l'adozione di azioni rigenerative capaci di innescare nuovi processi circolari intrinseci all'intervento di riuso adattivo e/o attivati da questo ed estesi al territorio. L'approccio sperimentale è orientato a definire interventi compatibili con le esigenze di conservazione, nel più ampio quadro della caratterizzazione dei flussi, materiali e immateriali, in atto e potenziali, per realizzare un ecosistema circolare con produzione di energia a zero emissioni, riuso e riciclo di materiali e acqua. Il contributo illustra in particolare due scenari di 'riuso adattivo circolare' su un caso pilota, il più complesso tra i siti identificati nelle attività di ricerca, valutando, tramite specifici indicatori, il livello di circolarità raggiunto.

The paper presents the outcomes of research activities focused on disused industrial heritage sites understood as a strategic resource for the energy and circular transition, through the adoption of regenerative actions capable of triggering new circular processes intrinsic to adaptive reuse interventions and/or activated by it and extended to the territory. The experimental approach aims to define conservation-compatible interventions within the broader framework of characterising current and potential resource flows, both material and immaterial, to achieve a circular ecosystem with zero-emission energy production, reuse and recycling of materials and water. In particular, the paper illustrates two 'circular adaptive reuse' scenarios on a pilot case, the most complex among the sites identified within the research activities, assessing the level of achieved circularity through specific indicators.

KEYWORDS

patrimonio industriale, transizione energetica, progetto circolare, riuso adattivo, flusso di risorse

industrial heritage, energy transition, circular design, adaptive reuse, resource flow

Serena Baiani, Architect and PhD, is an Associate Professor of Architectural Technology at the PDTA Department, 'Sapienza' University of Rome (Italy). With a specialisation in Industrial Design, her research focuses on the relationship between technological innovation and the design of the existing, addressing the issues of ecological and energy efficiency in the design of the rehabilitation of the built environment. E-mail: serena.baiani@uniroma1.it

Paola Altamura, Architect and PhD, is a Researcher at the PDTA Department, 'Sapienza' University of Rome (Italy). A former Research Fellow at ENEA in the Resource Valorisation Laboratory, she conducts research and experimentation on the ecological effectiveness of interventions on the built environment. E-mail: paola.altamura@uniroma1.it

Gaia Turchetti, Architect and PhD, is a Researcher at the PDTA Department, 'Sapienza' University of Rome (Italy). She conducts research and experimentation on the issues of technological and environmental design, with particular reference to the adaptation and mitigation of existing and historic built structures. E-mail: gaia.turchetti@uniroma1.it

Giada Romano, Architect and PhD, is a Researcher at the PDTA Department, 'Sapienza' University of Rome (Italy). She conducts research in the area of climate mitigation strategies focusing on energy and water efficiency and circularity of natural resources. E-mail: giada.romano@uniroma1.it



In linea con il Piano per l'Obiettivo Climatico 2030 (European Commission, 2020a) e gli obiettivi di 'Fit for 55' (European Commission, 2021), la nuova strategia di crescita mira a un'Europa efficiente sotto il profilo delle risorse (European Commission, 2019, 2020b), in cui i sistemi energetici siano basati su fonti rinnovabili e la riduzione di consumi ed emissioni sia determinata dall'efficientamento del patrimonio edilizio (European Commission, 2019; The European Parliament and the Council of the European Union, 2018a, 2018b). In questo quadro i siti dismessi del patrimonio industriale rappresentano una risorsa strategica da reinterpretare rispetto agli obiettivi di transizione energetica ed economia circolare. In particolare, il riuso adattivo dell'architettura industriale crea la condizione di innesco di nuovi cicli, attraverso azioni di rigenerazione che partono dalla rilevanza storico-economica e socioculturale del sito per il territorio (Battisti, 2001; EURES, 2019; Gustafsson, 2019), per individuare nuove funzionalità, valorizzando le testimonianze per metterle al servizio della comunità locale e ridurre al contempo gli impatti ambientali.

Secondo la Carta di Leeuwarden (ACE, 2018) il riuso adattivo del patrimonio costruito comporta sfide specifiche, in ottica ciclo vita, che attivano nel confronto con l'esistente di valore documentario (Douet, 2022; Baiani, Turchetti and Romano, 2024) processi a medio e lungo termine in grado di favorire e assicurare, con una visione multidisciplinare, approcci partecipativi, innovazione e qualità nel progetto, flessibilità e adattività negli usi, garantendone la completa sostenibilità finanziaria. I nuovi cicli di vita possono tradursi in processi circolari intrinseci all'intervento, che coinvolgono materiali e componenti per la conservazione / riuso durante le fasi di riattivazione, oppure processi circolari indotti dal riuso adattivo del sito ex industriale, che permangono nel tempo e si estendono al territorio, ampliandone l'effetto.

L'approccio sperimentale, orientato al riuso circolare e adattivo (Gravagnuolo, Angelis and Iodice, 2019), si misura con interventi di conservazione della memoria delle attività originarie, delle architetture produttive e del sito industriale (Baiani, Altamura and Giordano, 2022; Baiani et alii, 2023) inseriti all'interno dei flussi, materiali e immateriali, in atto e potenziali (ARUP, 2016; Ghisellini, Ripa and Ulgiati, 2018), per la realizzazione di un ecosistema circolare finalizzato alla produzione di energia a zero emissioni da scarti o rifiuti, al riuso di componenti e materiali da decostruzione e al 'reversible building design'.

Approccio e obiettivi della ricerca | Coerentemente con le sperimentazioni di città circolari e climaticamente neutre (UNEP, 2012; EU Water Alliance, 2020; WEF, 2021), l'approccio progettuale, in ottica di ciclo di vita e zero emissioni, delinea strategie e opzioni tecniche per l'intervento integrato su tre flussi significativi: materici, energetici ed ecologici. La lettura dei flussi di risorse, in ottica di ottimizzazione e chiusura locale dei cicli (Potting et alii, 2017; Van Buren et alii, 2016; Ghisellini, Cialani and Ulgiati, 2016; McKinsey&Company, 2015), individua in particolare i flussi strategici per la riattivazione delle funzioni produttive nei complessi industriali, anche in rapporto a ulteriori filiere caratterizzanti il tessuto, adottando modelli aziendali e tecnologie innovative orientate alla economia circolare.

La componente materiale è restituita da analisi tipo-tecno-costruttive dell'esistente, che oltre ad attestarne il valore testimoniale, stima lo stock dei materiali e il relativo valore incorporato di energia ed emissioni climateranti (Luciano et alii, 2023), per una valutazione dell'incidenza delle azioni di valorizzazione e riuso adattivo, alla scala edilizia e delle componenti. Tale aspetto si traduce in logiche di sottrazione o addizione, mirate a obiettivi di dematerializzazione e riduzione dell'energia incorporata.

La circolarità e l'efficienza energetica (ARUP, 2020) valorizzano i flussi di rifiuti e scarti degli insediamenti urbani (Ranjbari et alii, 2022), integrando alla componente organica i residui derivanti dagli impianti di trattamento delle acque reflue, che nascondono un potenziale inespresso (Liu et alii, 2020). Sono integrati i flussi idrici, in cui l'acqua di superficie, di falda o di recupero è risorsa energetica in ambito geotermico (Bayer et alii, 2019) o risorsa di seconda vita attraverso i processi di raccolta-recupero-riuso delle acque reflue, per il raggiungimento degli obiettivi di mitigazione del cambiamento climatico (EEA, 2019, 2022) e di decarbonizzazione (Pluciennik-Koropczuk, Myszograj and Mąkowski, 2022; Romano et alii, 2023) legate al City Water Resilience Approach (Rockefeller Foundation et alii, 2019).

A partire dagli approcci circolari, lo sviluppo della metodologia si incentra su una articolata sperimentazione, di cui il contributo presenta un caso pilota – l'area dell'ex SNIA Viscosa a Roma, il più complesso tra i siti identificati nelle attività di ricerca – in cui si pongono a confronto due scenari di 'riuso adattivo circolare'. Il sito, significativa testimonianza della storia dell'industria tessile degli anni '20-'30, si trova in un contesto urbano particolare, ambientalmente fragile, a forte valenza paesaggistica, attraversato da rilevanti flussi di risorse materiche, ecologiche ed energetiche.

Rispetto allo stato dell'arte la ricerca apre a una più articolata definizione dell'intervento di riuso adattivo del patrimonio industriale, in relazione a una logica di circolarità dei flussi e delle risorse non rinnovabili verso una transizione energetica ed ecologica, ponendosi in linea con il Progetto H2020 CLIC¹ – che applica i principi dell'economia circolare al Patrimonio culturale per uno sviluppo urbano / territoriale sostenibile dal punto di vista ambientale, sociale, culturale ed economico (Foster, 2020) – ampliando la visione dall'edificio al sito. Il superamento delle logiche definitorie sul tema trova, nell'applicazione dei principi dell'urban mining, l'innesco di una visione interdisciplinare che modifica il significato dei processi di dismissione, condizione di innesco di nuovi cicli.

Metodologia della ricerca | La metodologia adottata, ascalare – basandosi su strategie di circolarità che agiscono dalla dimensione territoriale a quella del componente edilizio – intersettoriale e interdisciplinare, si struttura in quattro fasi, di cui la seconda, di natura sperimentale, è articolata in cinque step ed è svolta in modo iterativo. Di seguito si riporta la struttura delle fasi operative.

La Fase 1) Conoscitiva è incentrata su: 1.1) revisione della letteratura internazionale tematica per la definizione di approcci, strategie e sistemi di valutazione della circolarità nel progetto dell'esistente; 1.2) raccolta, selezione e comparazione di buone pratiche esemplari (per la definizione dei

caratteri del sito, delle architetture produttive e delle operazioni adottate nella trasformazione); 1.3) identificazione di casi pilota per la sperimentazione, differenziati dal punto di vista tipo-tecno-morfologico e geografico.

La Fase 2) Sperimentazione su diversi siti, identificati nella fase 1.3, è articolata in: 2.1) conoscenza dell'evoluzione storica di tessuti, architetture produttive e filiere locali; costruzione delle condizioni di contesto microclimatico, biofisico e morfologico dei siti; 2.2) mappatura dei flussi di risorse in essere e potenziali, che attraversano i diversi siti; 2.3) individuazione e consultazione degli stakeholder; 2.4) definizione del programma funzionale e verifica delle potenziali richieste inesprese; 2.5) approfondimento della strategia di approccio morfologico-costruttivo (svuotamento / densificazione).

I casi pilota indagati nella fase sperimentale / applicativa della ricerca comprendono otto siti profondamente diversi: l'ex Mira-Lanza a Roma (Baiani, Altamura and Giordano, 2022); le autorimesse ATAC di Piazza Ragusa (Luciano et alii, 2023) e Piazza Bainsizza a Roma; i Termovalorizzatori di Colferro (Baiani, Altamura and Rossini, 2023); l'ex SAI a Passignano sul Trasimeno (Baiani, Turchetti and Romano, 2024); l'ex SITOCO di Orbetello; l'ex Hangar Rossi sul lago di Bracciano; il sito ferroviario e produttivo tessile di Mayfield a Manchester (Pedata, Altamura and Rossi, 2024). Sui siti sono stati sperimentati gli step di conoscenza e mappatura, verificando le modalità di lettura sistemica dei flussi materiali e immateriali messe a punto a partire dagli approcci legati al metabolismo urbano. In particolare, in ciascun sito, è stata effettuata preliminarmente la stima dello stock dei materiali (Luciano et alii, 2023) volta a comprendere il valore ambientale racchiuso nella preesistenza in termini di energia e carbone incorporati.

La Fase 3) Valutazione dei livelli di circolarità raggiunti negli scenari di riuso adattivo è sviluppata attraverso la costruzione di un quadro di indicatori specifici (indagati nella fase 1.1), mentre la Fase 4) Sintesi Critica ha per oggetto l'analisi dei risultati delle sperimentazioni e la strutturazione di indirizzi per il 'riuso adattivo circolare' del patrimonio industriale.

Nelle buone pratiche analizzate (Fig. 1) e nei progetti condotti dal Gruppo di Ricerca sui casi pilota (Fig. 2), il tema della 'reintegrazione della lacuna' è stato affrontato affiancando al tema della tutela concetti di intensificazione e di decostruzione, guidati da una selezione e scelta critica. I due termini dicotomici definiscono una condizione specifica del sito industriale dismesso il quale, pur mantenendo le caratteristiche essenziali e connotative del patrimonio, si trasforma con un processo di naturalizzazione attivato dalla vegetazione, che si appropria del costruito e mantiene la capacità di riallacciare le trame dell'esistente, creando nuovi sistemi di connessione, in sinergia con le testimonianze storiche.

I riferimenti e le buone pratiche internazionali |

A partire da una fase conoscitiva avanzata, basata sulla revisione della letteratura internazionale sui concetti di riuso adattivo del patrimonio industriale in rapporto ai concetti di circolarità e resilienza (De Gregorio et alii, 2020; De Joanna, Bronzino and Lusi, 2022) nella Fase 1.2 della ricerca è stato costruito un quadro di confronto analitico-

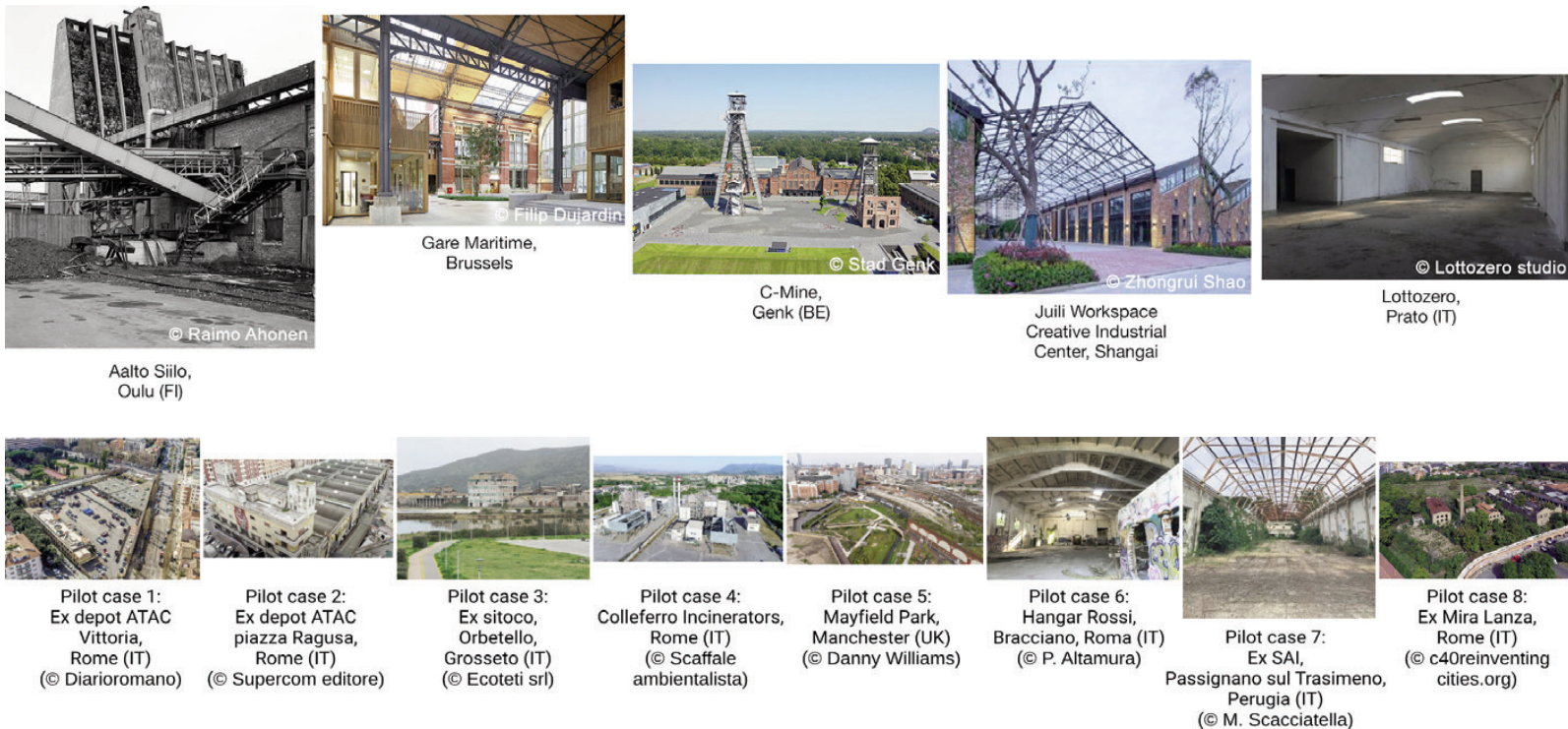


Fig. 1 | Images of some exemplary cases selected from those collected in the research (credit: the Authors, 2023).

Fig. 2 | Images of the disused industrial complexes selected as application cases in the experimental phase of the research (credit: the Authors, 2023).

Next page

Fig. 3 | Photographic survey of the Ex SNIA area (credit: the Authors, 2023).

valutativo (Tab. 1) di buone pratiche tra le quali si riportano, a titolo esemplificativo: C-Mine a Genk (Belgio), Lottozero a Prato (Italia), Gare Maritime a Bruxelles (Belgio), Juili Workspace Creative Industrial Center a Shanghai (Cina) e Aalto Siilo a Oulu (Finlandia). I casi sono stati selezionati e mappati considerando il ricorso a processualità circolari nell'ambito delle attività di conservazione e riuso adattivo, o l'attivazione di processi circolari 'attraverso' e 'a valle' dell'intervento.

Il caso della miniera di carbone Winterslag trasformata in C-Mine (2010) rappresenta un caposaldo dell'approccio di riuso adattivo orientato alla sostenibilità con un accento particolare sugli aspetti sociali ed economici. Il progetto ha visto un processo partecipativo con mappatura di usi e stakeholder, che ha condotto alla creazione di spazi aperti a uso della comunità locale e di diversi altri utenti. Il grande e impattante sito minerario è stato convertito in hub per l'industria creativa, la quale ospita anche una sala concerti, una sala ristorazione, spazi espositivi e servizi per fruizione turistica. Il progetto di riuso adattivo ha visto la conservazione dei macchinari e dei materiali, con approccio di circolarità dei materiali e delle risorse limitati a pochi elementi, come i componenti per pavimentazioni.

In maniera analoga, seppure su scala molto più limitata, il progetto Lottozero a Prato ha visto nel 2016 il riuso adattivo di un magazzino all'ingrosso di alimenti e bevande degli anni '50, volto ad attivare un hub per la ricerca sul tessile negli ambiti del design, fashion e arte. Interessante, e in linea con gli obiettivi di circolarità, non tanto la strategia di conservazione e valorizzazione di materiali e caratteri costruttivi del magazzino, quanto l'attivazione di processi di economia circolare per la filiera del

tessile locale, con la creazione di spazi a supporto di attività di ricerca sui materiali di scarto.

Gli altri tre casi studio rappresentano invece approcci più consapevolmente orientati alla transizione energetica e circolare. In particolare la Gare Maritime a Bruxelles, una stazione per traffico merci dell'inizio del XX secolo, ha visto una radicale trasformazione in spazio polifunzionale (uffici e spazi commerciali) con processi caratterizzati dal recupero e riuso di componenti in pietra dai docks dell'intorno per la facciata e le pavimentazioni dell'edificio, ma anche dal ricorso estensivo a sistemi costruttivi reversibili e low-carbon in legno. Inoltre il progetto ha visto l'integrazione architettonica estesa di fotovoltaico (BIPV) nelle vetrate, il ricorso a soluzioni passive per il risparmio energetico, compreso il recupero di calore, e l'attivazione di un ciclo chiuso delle acque piovane.

Con un approccio simile il Juili Workspace Creative Industrial Center di Shanghai è stato trasformato da deposito di un'azienda di logistica e stoccaggio in Centro per l'industria creativa aperto alla comunità locale con uffici e servizi. L'intervento ha visto il recupero e riuso di container e mattoni, integrati nel progetto di riuso adattivo, e al tempo stesso l'attivazione di soluzioni per il riscaldamento passivo e per l'illuminazione naturale.

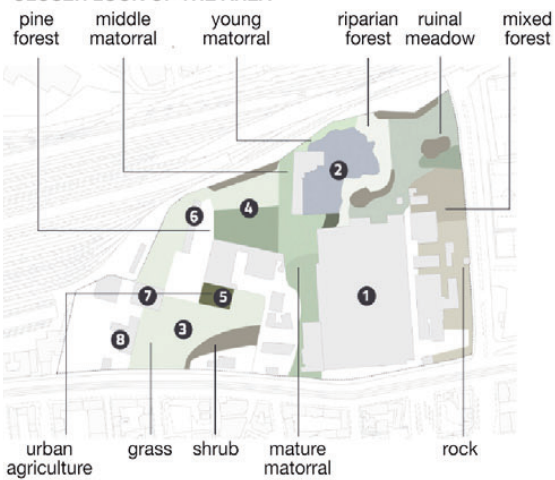
Il progetto di recupero dell'Aalto Siilo, edificio d'autore del 1930 facente parte del complesso industriale della fabbrica di cellulosa Toppila, in attività fino alla fine degli anni '80, è rappresentativo di un approccio pienamente circolare al riuso adattivo del patrimonio industriale. Questo esempio, seppure incentrato alla scala di pochi edifici e focalizzato in prevalenza sul silo stesso, ha visto i progettisti adottare una strategia progettuale chiaramente indirizzata alla transizione energetica

e circolare, in modo integrato e con un processo culturalmente molto partecipato, grazie al coinvolgimento della Factum Foundation. Obiettivo chiave è stata la riattivazione del complesso grazie a un mix funzionale, con centro culturale, sauna pubblica, spazi per ricerca e uffici. Anche in questo caso, il processo di riuso adattivo è caratterizzato dal recupero e riuso di componenti in legno dal silo e di elementi in cls dall'edificio e da edifici dell'intorno; al contempo è attivata una nuova produzione energetica da rinnovabili, facendo ricorso in parallelo al recupero di calore, per alimentare la sauna, e delle acque.

Come dichiarato negli obiettivi della ricerca, l'approccio sperimentato nei casi pilota si distingue da quelli riscontrati nelle buone pratiche sia per la complessità e/o la dimensione dei siti in esame, sia per la natura dei contesti, caratterizzati in diversi casi da condizioni ambientali di fragilità, sia per la lettura sistemica dei flussi di risorse a monte della definizione stessa delle strategie progettuali, sia per il tentativo di strutturare un quadro olistico di soluzioni per la transizione energetica e circolare del patrimonio, coerente con la necessità di preservare la memoria del luogo e delle attività produttive originarie, ma spinto verso l'attivazione di processi circolari, indotti dallo stesso intervento di riuso adattivo, che si riverberano sul territorio intorno al sito.

L'approccio sperimentale vede dunque una visione circolare in cui i processi a ciclo chiuso caratterizzano tanto l'intervento di riuso adattivo quanto il comportamento del complesso rigenerato nella sua vita utile, a supporto di una gestione efficiente e circolare di tutti i flussi di risorse, materiche, energetiche, idriche, ma anche immateriali, culturali, economiche e sociali.

CLOSER LOOK OF THE AREA



1. Ex SNIA Viscosa



2. Lago Bullicante Ex SNIA Viscosa



3. Energy park



4. Ravenna pine forest



5. Urban agriculture



6. Historical Archive Ex SNIA



7. Skate park "il Quadrato"



8. Social center Ex SNIA

Scenari di 'riuso adattivo circolare' dell'ex SNIA Viscosa

Nel caso pilota qui presentato, l'area dell'ex SNIA Viscosa a Roma (Fig. 3), si sperimentano due scenari di 'riuso adattivo circolare' basati su decostruzione e intensificazione, analizzando le diverse declinazioni nelle logiche di transizione energetica, ecologica e digitale del sistema urbano. Il sito, significativa testimonianza della storia dell'industria tessile degli anni '20-'30 in cui si produceva il filato in cellulosa (Viscosa), completamente dismesso nel 1955, si inserisce in un contesto ambientale fragile, a forte valenza naturalistica e paesaggistica, che negli elaborati del Piano Territoriale Paesaggistico Regionale (PTPR) è individuata come area di notevole interesse pubblico (PTPR, Carta della Qualità del PRG, ai sensi degli artt. 134 e 136 del Decreto Legislativo 42/2004), area urbana oggetto, nel tempo, di progetti di recupero e riqualificazione. Il sistema produttivo della fabbrica si eleva accanto all'attuale Parco dell'Energia, in un'area caratterizzata da un lago creato dai lavori di scavo per la realizzazione di un complesso commerciale (mai ultimato) e alimentato dalle acque sorgive del fosso della Marranella (Fig. 4).

L'intervento, nei due scenari, indaga diverse azioni operative guidate da logiche di addizione o di sottrazione con decostruzione selettiva, coerenti con la modularità tipologica e la serialità costruttiva del patrimonio industriale, per la definizione di soluzioni integrate al fine della transizione energetica, ecologica e digitale (Rigillo, Galluccio and Paragiola, 2023), attraverso l'adozione di sistemi responsivi e adattivi che si integrano, in un caso con una logica più conservativa e, nell'altro, più trasformativa. Da un lato si è lavorato prevalentemente sui flussi di energia, acqua, scarti di produzione e rifiuti, realizzando un hub di recupero de-

gli scarti tessili per la produzione di semilavorati destinati a diverse filiere. Dall'altro sono stati valorizzati le risorse vegetali e la biomassa residuale, i flussi di energia e i materiali, per la realizzazione di un hub per l'agricoltura urbana, network di produzione, vendita e consumo in mercati rionali del comparto urbano, finalizzato a limitare gli sprechi di cibo, i trasporti e le correlate emissioni di CO₂.

Sulla base dei due approcci, nel primo caso il processo di riuso adattivo è rivolto alla preservazione e riutilizzo di alcune strutture del sistema industriale, la parte storica del complesso, per l'attivazione della filiera agroalimentare urbana, capace di potenziare lo scambio simbiotico tra uomo e natura in un luogo che è da diversi anni oggetto di un processo di rinaturalizzazione. In tal modo si riattivano flussi e filiere esistenti nel territorio, riportandole all'interno dell'area dismessa, in continuità con le attività di coltura orticola nel Parco delle Energie.

Nel secondo caso il processo di riuso adattivo è rivolto alla densificazione del costruito, intervenendo secondo una logica di intensificazione che potenzia le connessioni e le spazialità dell'esistente, ricalcando il sedime perduto della fabbrica e integrando, con strutture leggere e disassemblabili, una nuova produzione del tessile che, in linea con la vocazione produttiva originaria, ricostruisce e integra diversi flussi di tessile di scarto provenienti dal territorio, per dare vita a un hub in cui si praticano riuso e riciclo meccanico delle fibre tessili.

I due approcci circolari, esemplificati nello sviluppo delle ipotesi progettuali a livello di concept (Figg. 5, 6), evidenziano diverse logiche, intervenendo in maniera dicotomica nel processo di reintegro della lacuna: a) mantenendo il 'vuoto' esistente, implementandolo e riconsegnando al layout

naturale il sito (con opportuni scenari di bonifica) nella previsione di ospitare un hub agroalimentare che sperimenta, in ambito urbano, sistemi idropo- nici e acquaponici, integrandoli con le componenti naturalistiche e con gli orti urbani nell'area vasta; b) integrando il costruito con soluzioni tecnologiche leggere e disassemblabili che ridefiniscono la volumetria della fabbrica, ospitando un hub del tessile (dalla produzione, al recupero, alla formazione) in continuità con il processo produttivo della viscosa.

I processi di definizione del concept derivano da una lettura integrata e complessa dei vari flussi di risorse, che vede, da un lato la valorizzazione delle risorse vegetali, della biomassa residuale, dei flussi di energia e dei materiali come riferito in precedenza, dall'altro un lavoro sviluppato sui flussi di energia, acqua, scarti di produzione e rifiuti, con la realizzazione di un hub di recupero degli scarti tessili per la produzione di semilavorati destinati a diverse filiere, considerando la logica di recupero, riuso, riciclo delle risorse provenienti dal lotto o da siti limitrofi ad esso, derivanti dall'ambiente costruito o dai processi produttivi esistenti o integrati (Fig. 7).

I processi di mappatura di materiali e dei flussi di risorse, nei due scenari progettuali, risultano coerenti con la modularità e la serialità del patrimonio industriale. Il progetto di riuso adattivo, nell'approccio tecnologico-ambientale e in ottica di ciclo di vita, sovrappone sistemi responsivi e adattivi che si integrano – in un caso con una logica più conservativa, nell'altro con un approccio più trasformativo – all'esistente, esemplificando operazioni di Transition Design (Irwin, 2018), capaci di affrontare in maniera sistemica le criticità, per costruire e alimentare un rapporto di complemen-

tarietà strategica tra ecologia, energia e digitale.

Gli scenari di 'riuso adattivo circolare' intendono attivare, mediante processi partecipativi, anche la comunità, che è inclusa tra gli stakeholder di riferimento nella mappatura volta a leggere le esigenze alla base del progetto e a trasporle in output concreti verso una transizione anche digitale dei flussi e delle filiere individuate (Fig. 8). I processi di riattivazione dei siti industriali, seguendo una metodologia ascalare, interdisciplinare e intersettoriale, si incentrano su una fase di analisi e conoscenza dei flussi di risorse, propedeutica alla riattivazione delle funzionalità produttive o produttivo / culturali delle aree e all'individuazione di ulteriori filiere / flussi potenziali e caratterizzanti il territorio, verso modelli imprenditoriali e tecnologie innovative orientate alla economia circolare (Fig. 9).

Valutazione dei livelli di circolarità raggiunti negli scenari di riuso adattivo | La misurazione del Livello di Circolarità (LdC) raggiunto nel tempo in coerenza con l'efficacia delle strategie applicate è costruita in base a specifiche dimensioni della sostenibilità relative a risorse materiche e componenti tecniche, risorse energetiche e idriche, rifiuti e emissioni (UNI/TS 11820:2022; Material Circularity Indicator, Reuse Potential Indicator, Sustainable Circular Index). Ogni dimensione sottende un set di indicatori che rappresentano la quota parte di materiali circolari, energia rinnovabile, acqua recuperata e riutilizzata e rifiuti inviati a riciclo, rispetto al totale utilizzato per la produzione del prodotto e quantificato lungo il ciclo di vita dello stesso (Tab. 2). Gli indicatori considerati, singoli o composti, sono stati selezionati in riferimento ai livelli di applicazione micro (prodotto), meso (edi-

ficio) e macro (tessuto) e in relazione alle 6R strategiche (Reuse, Recycle, Redesign, Remanufacture, Reduce, Recover).

Il tema della misurazione del livello di circolarità assume un'importanza rilevante anche nel calcolo degli impatti e nell'adozione di misure di mitigazione, riduzione e compensazione delle emissioni climalteranti, al fine di migliorare la performance ambientale dei sistemi edilizi. A titolo esemplificativo, e non esaustivo, sono riportate le principali strategie e azioni tecniche attuate nel caso dell'ex SNIA, nei due scenari di 'riuso adattivo circolare', a partire dalle quali vengono citati solo alcuni degli indicatori di circolarità valutati per verificare l'efficacia dell'intervento sui flussi materici, energetici ed ecologici, e dei quali si riportano i risultati ottenuti.

Con riferimento alle 'risorse materiche e alle componenti tecniche', a partire dall'obiettivo specifico di limitare le emissioni di CO₂ associata all'impiego di nuovi materiali e ai processi connessi, sono riutilizzate le componenti degli edifici presenti nell'area dell'ex SNIA, attraverso processi di demolizione selettiva, catalogazione dei materiali esistenti e previsione di riuso e riciclo on-site e off-site, come si riporta in dettaglio in Tabella 3. Ad esempio, le componenti metalliche della struttura portante, in ottica di decostruzione e progetto circolare, vengono riusate per costruire il telaio di supporto per i pannelli in policarbonato di chiusura delle nuove serre; i montanti che compongono la trave reticolare di tipo 'shed' vengono tagliati per ottenere dei moduli che costituiranno la base per la nuova intelaiatura e le nuove componenti vengono assemblate e connesse tramite saldatura.

Le strategie di circolarità esplicitate e sintetizzate in Figura 10 permettono di calcolare i seguenti indicatori di circolarità:

- 'uso di materie prime da fonti riutilizzate o riciclate'; questo indicatore misura l'uso di materie prime seconde e fa riferimento ai materiali derivati dai processi di recupero, riuso e riciclo e dalla rigenerazione o dalla trasformazione di prodotti già esistenti; i materiali vengono poi processati e trasformati in nuove materie prime che possono essere utilizzate, a loro volta per la produzione di nuovi prodotti o componenti; la quantità di materie prime seconde viene messa in rapporto alla quantità globale di materiale impiegato ai fini del calcolo dell'indicatore di circolarità; una percentuale elevata come risultato di tale indicatore comporta un elevato livello di uso di materie prime da fonti riutilizzate o riciclate;
- 'riciclo delle risorse materiche e delle componenti'; questo indicatore misura la gestione delle risorse materiche o delle componenti diventate rifiuti, con particolare riferimento alla quantità di materiale che può essere riciclato, calcolato in rapporto percentuale rispetto alla quantità globale di risorse materiche o componenti impiegate; maggiore è la percentuale che deriva dal calcolo di questo indicatore, maggiore sarà la percentuale di risorse materiche o componenti che possono essere riciclate;
- 'energia incorporata nei materiali'; questo indicatore misura la somma dei flussi di energia, diretti e indiretti, necessari per produrre un prodotto o una componente, indicando quanta energia sia incorporata nel prodotto stesso; si tratta di un indicatore che, a cavallo tra i livelli di circolarità delle risorse materiche e delle componenti e quelli delle

Case study, location, and year of construction	Adaptive reuse intervention designer, and year	Original production activity	Main functions after adaptive reuse	Circularity strategies in the adaptive reuse intervention	Intervention-induced circularity (material flow, waste flow, energy flow, water flow, etc.)
C-Mine Genk (BE) 1917	51N4E 2010	Coal Mine Winterslag	Hub housing 42 companies and 330 jobs in the creative industry; concert hall, restaurants, exhibition space, services for tourist use	Reuse of flooring components Conservation of machinery and materials Participatory process with mapping of uses and stakeholders	Creation of spaces open for use by the community and various other users
Lottozero Prato (IT) 1950s	Tessa and Ariana Moroder 2016	Food and beverage wholesale warehouse	Hub for textile research in design, fashion, art	Preservation and enhancement of the materials and construction features of the warehouse	Activation of circular economy processes for the textile supply chain, with the creation of spaces to support research activities on waste materials
Gare Maritime Brussels (BE) early 1900	Neutelings Riedijk Architecten 2016-2020	Freight traffic station	Multifunctional space with offices and retail	Recovery and reuse of stone components from the surrounding docks for the façade and flooring of the building	Activation of energy production from renewables (BIPV) Activation of a closed rainwater cycle Heat recovery
Juili Workspace Creative Industrial Center Shanghai (Cina)	Architect+ Architectural Design Studio 2020	Warehouse of a logistics and storage company	Open Creative Industry Centre (office space with services)	Recovery and reuse of containers and bricks integrated into the adaptive reuse project	Activation of passive heating solutions Implementation of natural lighting solutions
Aalto Siilo Oulu (FI) 1930	Skene Catling de la Peña 2020-2024	Cellulose factory	Functional mix, with a cultural centre, public sauna, research and office space	Recovery and reuse of timber components from the silo and concrete elements from the building and surrounding buildings	Activation of energy production from renewable sources Heat recovery for sauna thermal supply Water recovery

Tab. 1 | Comparison of exemplary case studies analysed in the first phase of research (credit: the Authors, 2023).

THE TRANSFORMATIONS OF EX SNIA VISCOSA



1. SITE PLAN | 1920s



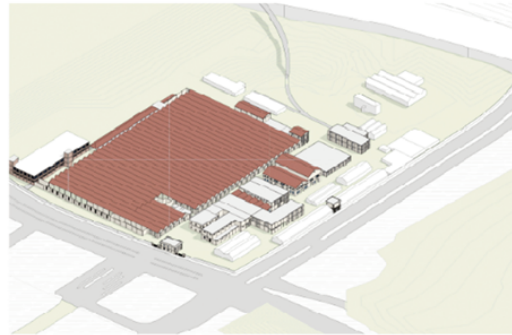
2. SITE PLAN | 1930s-1980s



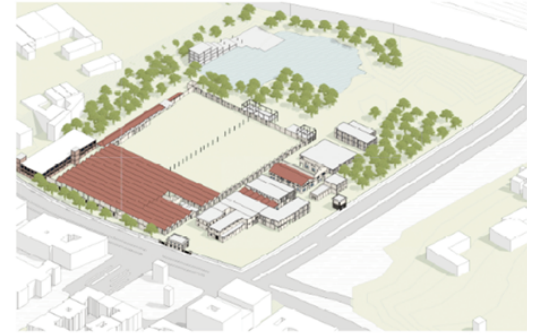
3. SITE PLAN | existing



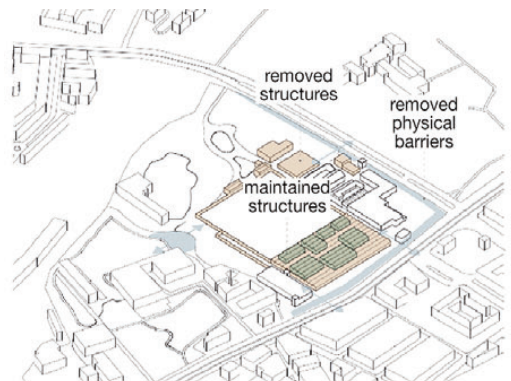
4. ISOMETRIC VIEW | 1920s



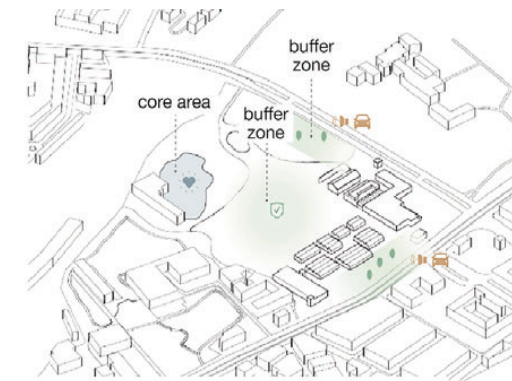
5. ISOMETRIC VIEW | 1930s-1980s



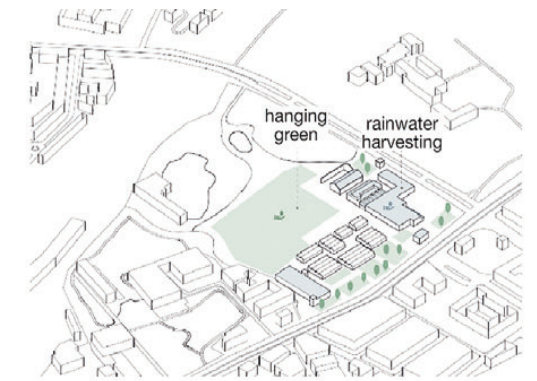
6. ISOMETRIC VIEW | existing



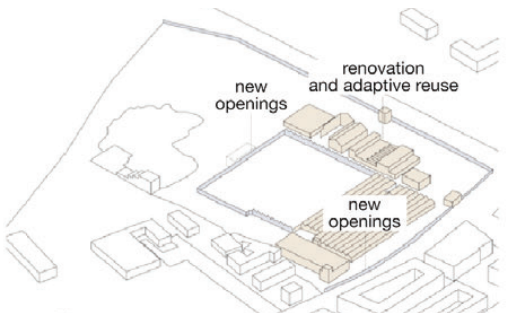
The area where the former factory buildings are located is inaccessible because it is bounded by a wall that does not allow its use. The connection with the adjacent Energy Park is hindered by a natural slope of the terrain.



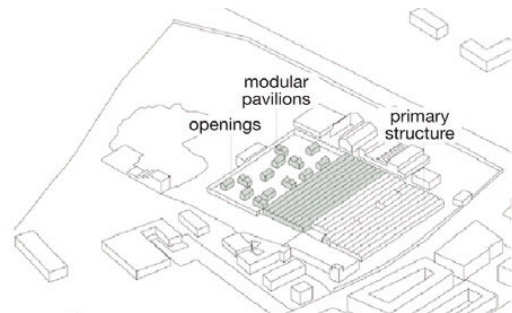
The subdivision into a core area represented by the lake and buffer zones: the former peripheral bounded by a buffer strip that filters noise and environmental pollution; the latter, more inland, in a central zone as a protection zone for the lake and biodiversity reproduction.



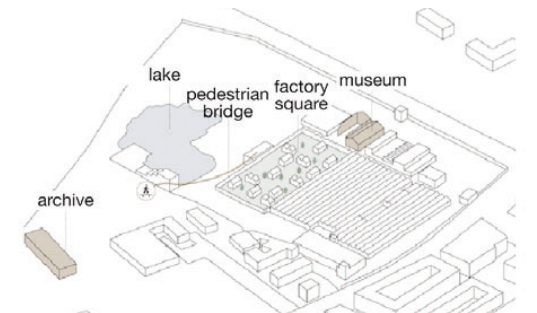
The former two belts compose the stormwater collection system at ground level allowing the reduction of run-off and overloading of the sewer system.



Preserving the essence of the past, these revamped buildings become dynamic spaces, breathing new life into cherished heritage while serving contemporary needs.



Transformative architecture integrates modular pavilions with the central structure, marrying traditional grandeur and contemporary aesthetics for a visually striking environment.



Linking Energy Park, Historical Archive of Ex SNIA Viscosa and the Museum via pedestrian bridges through the shopping center remains. A square in front of the main building connects to Lake Bullicante, seamlessly blending urban and natural spaces.

Fig. 4 | Reconstruction of the main historical phases of transformation of the Ex SNIA area (credit: the Authors, 2023).

Fig. 5 | Design hypothesis for creating a hub to support the urban food value chain (credit: the Authors, 2023).

Fig. 6 | Design hypothesis for the creation of a hub to support an urban and circular textile production value chain (credit: the Authors, 2023).

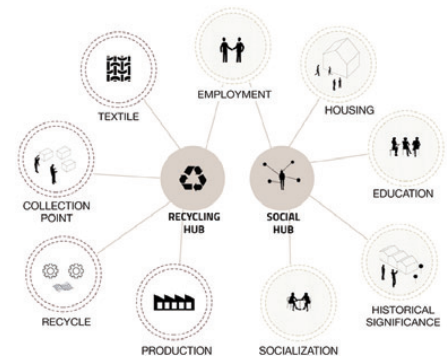
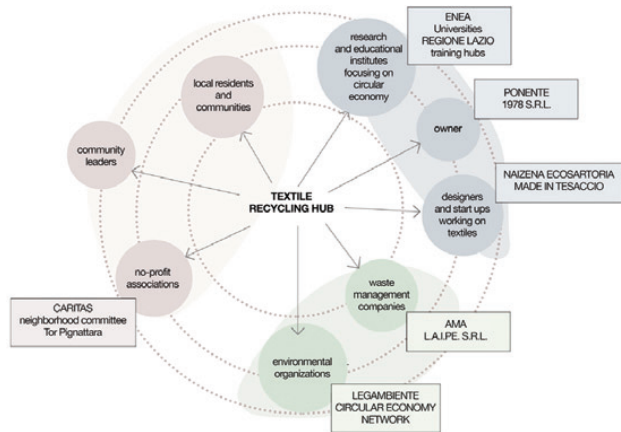
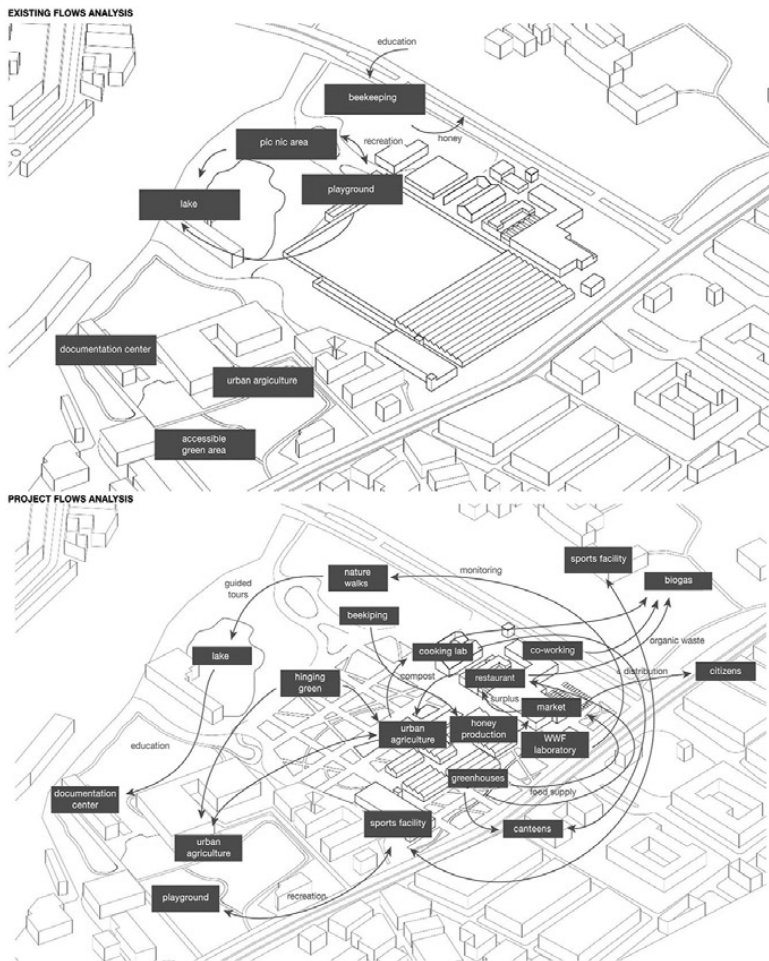


Fig. 7 | Analysis of flows in the Ex SNIA area: current and project (credit: the Authors, 2023).

Fig. 8 | List of stakeholders of interest in the Ex SNIA area (credit: the Authors, 2023).

Fig. 9 | Innovative hub for recycling and social connection (credit: the Authors, 2023).

risorse energetiche, è capace di identificare le inefficienze dovute all'uso di energia e può essere espresso anche come quantità di energia non rinnovabile sull'energia totale necessaria per la realizzazione di un prodotto.

Nello scenario di trasformazione dell'ex SNIA in hub per la produzione agricola, ad esempio, si decostruiscono / demoliscono circa 4.500 tonnellate di materiali, delle quali il 94% viene reimpiegato, tramite riuso o riciclo, nella rigenerazione del sito e del complesso edilizio. Nel caso delle componenti metalliche (1.800 metri lineari di profili smontati decostruendo le capriate di supporto degli shed ormai crollati della copertura della fabbrica sono stati riusati sul posto per realizzare la struttura di supporto dei pannelli di policarbonato dell'involucro delle serre idroponiche) si consideri che, sul totale del metallo impiegato per realizzare la struttura delle serre, la percentuale di materie prime da riuso è pari all'85%, mentre quella di risorse materiche riciclabili è pari al 100%; l'energia incorporata nei componenti in ferro oggetto di riuso è stimata in circa 2 milioni di MJ.

Con riferimento alle 'risorse energetiche', a partire dagli obiettivi specifici di produrre energia da fonte energetica rinnovabile e, al tempo stesso, di dare vita a un sistema che punti all'eliminazione degli sprechi alimentari e dei rifiuti organici presenti nell'area dell'ex SNIA, in ottica net-zero, le strategie e le azioni tecniche prevedono la destinazione dei rifiuti organici agli impianti di biogas, al fine di produrre energia elettrica e termica utile in loco e nelle aree limitrofe, e l'installazione di pannelli fotovoltaici e collettori solari integrati nelle coperture degli edifici, opportunamente dimensionati e orientati.

Le strategie di circolarità esplicitate in Figura 11 permettono di calcolare gli indicatori di circolarità di:

- 'accumulo, stoccaggio e riuso energetico'; questo indicatore misura la quantità di energia accumulata e stoccata, che consente il riuso di tale risorsa generata da varie fonti rinnovabili per riutilizzarla quando c'è maggiore richiesta o per garantire al contempo la continuità in caso di blackout o altre emergenze, misurata rispetto alla produzione energetica (termica ed elettrica) globale; una percentuale elevata come risultato di tale indicatore comporta un elevato livello di riuso energetico;
- 'produzione energetica da fonte energetica rinnovabile'; questo indicatore è volto a misurare la quantità di energia (termica ed elettrica) prodotta da fonte energetica rinnovabile, calcolata in percentuale rispetto alla produzione energetica totale utilizzata nell'area di intervento; una percentuale elevata come risultato di tale indicatore comporta un elevato apporto da fonte energetica rinnovabile.

Nel caso specifico dell'indicatore della produzione energetica da fonte rinnovabile, per la componente elettrica la percentuale di circolarità corrisponde al 97%, di cui il 63% da sistemi fotovoltaici integrati in copertura e il restante 34% da impianto di cogenerazione alimentato a biometano (derivante dalla trasformazione da biogas tramite biodigestore) mentre per la componente termica l'indicatore della produzione energetica da fonte rinnovabile corrisponde al 79%, a copertura del fabbisogno termico per la climatizzazione invernale ed estiva e la produzione di ACS.

In merito ai sistemi di accumulo e stoccaggio finalizzati al riuso energetico, le batterie a servizio

delle attività industriali offrono una vasta gamma di opzioni di accumulo di energia elettrica, da pochi kW a diversi MW, e forniscono energia elettrica continua per molte ore, a seconda della potenza richiesta; per questa ragione l'indicatore di circolarità di accumulo, stoccaggio e riuso energetico equivale al 100%, ovvero alla copertura dell'intero fabbisogno energetico elettrico per oltre 24h di attività continuata.

Con riferimento alle 'risorse idriche', a partire dall'obiettivo di massimizzazione del ruolo della risorsa idrica nel raggiungimento degli obiettivi di mitigazione del cambiamento climatico e di decarbonizzazione e dagli obiettivi specifici di ridurre il deflusso, sfruttando le acque reflue e meteoriche come risorse per l'irrigazione delle aree verdi nell'area dell'ex SNIA, in ottica net-zero, le strategie e le azioni tecniche prevedono l'attuazione di processi di raccolta-recupero-riuso delle acque reflue e meteoriche mediante il convogliamento delle acque provenienti da superfici scolanti non soggette ad inquinamento nella rete delle acque meteoriche e in vasche di raccolta, l'installazione di impianti separati di recupero delle acque meteoriche e delle acque reflue (grigie e nere).

Le strategie di circolarità esplicitate in Figura 12 permettono di calcolare gli indicatori di circolarità di:

- 'accumulo, stoccaggio e riuso delle acque meteoriche'; questo indicatore misura la quantità di risorsa idrica provenienti dalle coperture degli edifici o da qualsiasi altra superficie, incanalata verso impianti che prevedono la raccolta, il filtraggio (l'eventuale trattamento, se necessario) e il riutilizzo delle acque meteoriche per attività che, tipica-

mente, non richiedano una qualità delle acque che rispetti i criteri di potabilità; una percentuale elevata come risultato di tale indicatore garantisce un livello elevato di circolarità della risorsa idrica piovana;

– ‘accumulo, stoccaggio e riuso delle acque reflue’ (grigie e nere); questo indicatore misura la presenza e l’efficacia di impianti atti a garantire la raccolta e il trattamento per il successivo impiego per usi ‘secondari’ delle acque grigie provenienti da lavabi, vasche e, in alcuni casi, dalle condense degli impianti di climatizzazione invernale ed estiva; esso misura, inoltre, separatamente la presenza e l’efficacia di impianti atti a garantire la raccolta e il trattamento per il successivo impiego per usi ‘secondari’ delle acque nere; una percentuale elevata come risultato di tale indicatore garantisce un livello elevato di circolarità dei reflui.

Conclusioni e prospettive di ricerca | L’impatto della ricerca sulla Comunità Scientifica, colmando un evidente gap nell’interpretazione del patrimonio industriale come risorsa dal duplice valore, non solo culturale e spaziale, ma anche materico ed energetico, determina un avanzamento delle conoscenze legate all’intervento sull’esistente e nell’esistente, attraverso la costruzione di un approccio complesso al riuso adattivo, orientato alla neutralità climatica e all’uso efficiente e circolare delle risorse, coerente con il Green Building Approach.

Obiettivo prioritario è lo sviluppo di un approccio circolare al riuso adattivo di siti industriali, in contesti fragili, per la costruzione di metodologie di intervento low carbon-low energy, la definizione di sistemi di valutazione del progetto circolare, ecologico ed energetico, in un quadro operativo integrato di tecnologie tradizionali e innovative. Innovativo, rispetto alle sperimentazioni contemporanee, è l’approccio olistico che legge le interazioni tra i flussi di risorse caratterizzanti il sito, confluenti nell’organismo edilizio e diffusi nel contesto: la visione circolare dei flussi di risorse materiche, energetiche ed ecologiche permea il sistema tessuto-edificio-componente nel progetto adattivo dell’esistente.

I limiti più evidenti sono determinati dalla complessità dell’implementazione degli approcci multidisciplinari in un sistema operativo multicriteriale che emerge soprattutto in fase di valutazione dei livelli di circolarità. I sistemi di indicatori fanno riferimento a sistemi multiscalari, coerenti con le diverse componenti dei siti industriali, la cui applicazione mostra indici eterogenei, non sempre applicabili in modalità semplificata.

La metodologia operativa, messa a punto nella ricerca, apre anche al coinvolgimento della comunità locale, a partire dalla mappatura delle esigenze posta alla base del progetto attraverso processi proattivi, anche per l’attivazione di iniziative di industria creativa come forme di conservazione delle risorse ecologiche, energetiche e materiche in un ecosistema circolare.

Le prospettive di ricerca sono orientate su due livelli: la progressiva sistematizzazione dei risultati, ottenuti nelle sperimentazioni per scenari sviluppate sui diversi casi esaminati attraverso una sintesi critica degli esiti, permette di estrapolare indirizzi operativi, da strutturare in forma di linea guida per il progetto e da sottoporre a stazioni appaltanti pubbliche e Agenzie di gestione del patrimonio, come il Demanio; l’approfondimen-

to dei sistemi di valutazione della circolarità delle soluzioni adottate, confrontando indicatori, indici e protocolli specifici, permette inoltre di elaborare un modello specifico per le strategie di riuso adattivo circolare, anche sulla base di trasferimenti di approcci complessi (come il Sustainable Circular Index) con la combinazione di più indicatori, per comprendere gli effetti dei processi in un’ottica di Life Cycle Thinking.

In line with the 2030 Climate Target Plan (European Commission, 2020a) and the ‘Fit for 55’ targets (European Commission, 2021), the new growth strategy aims to achieve a resource-efficient Europe (European Commission, 2019, 2020b), in which energy systems are based on renewable sources and consumption and emissions reductions are driven by the efficiency of the building stock (European Commission, 2019; The European Parliament and the Council of the European Union, 2018a, 2018b). Within this context, disused industrial heritage sites represent a strategic resource to be reinterpreted with respect to the goals of energy transition and circular economy. In particular, the adaptive reuse of industrial architecture creates a triggering condition for new cycles – through regeneration actions that originate from the historical-economic and sociocultural relevance of the site for the territory (Battisti, 2001; EURES, 2019; Gustafsson, 2019) – to identify new functionalities, enhancing the heritage to put it at the service of the local community while reducing environmental impacts.

According to the Leeuwarden Charter (ACE, 2018), the adaptive reuse of the built heritage entails specific challenges, from a lifecycle perspective, that activate, when confronted with the existing of documentary value (Douet, 2022; Baiani, Turchetti and Romano, 2024), medium- and long-term processes capable of fostering and ensuring participatory approaches, innovation and quality in design, flexibility and adaptability in uses, with a multidisciplinary vision, while ensuring its complete financial sustainability. New life cycles can result in circular processes intrinsic to the intervention, involving materials and components for preservation / reuse during the reactivation phases, or circular processes induced by the adaptive reuse of the former industrial site; circular processes which persist over time and extend to the territory, amplifying its effect.

The experimental approach, directed toward circular and adaptive reuse (Gravagnuolo, Angelis and Iodice, 2019), is measured through interventions to preserve the memory of original activities, productive architectures and the industrial site (Baiani, Altamura and Giordano, 2022; Baiani et alii, 2023) that fit within current and potential flows, both material and immaterial (ARUP, 2016; Ghisellini, Ripa and Ulgiati, 2018), for the realisation of a circular ecosystem aimed at zero-emission energy production from waste or refuse, reuse of components and materials from deconstruction, as well as ‘reversible building design’.

Research approach and objectives | In accordance with experiments in circular and climate-neutral cities (UNEP, 2012; EU Water Alliance, 2020; WEF, 2021), a design approach in terms of lifecycle and zero emissions outlines strategies and techni-

cal options for integrated intervention on three significant flows: material, energy and ecological. The interpretation of resource flows, with a view to optimisation and local closing of cycles (Potting et alii, 2017; Van Buren et alii, 2016; Ghisellini, Cialani and Ulgiati, 2016; McKinsey&Company, 2015), identifies explicitly strategic flows for the reactivation of production functions in industrial complexes, also in relation to additional supply chains characterising the fabric, adopting model business models and innovative technologies oriented to the circular economy.

The material component is returned by type-techno-constructive analysis of the existing built environment, which – in addition to attesting to its testimonial value – estimates the stock of materials and its embedded value of energy and climate-altering emissions (Luciano et alii, 2023) for an assessment of the impact of adaptive enhancement and reuse actions, at the building and component scales. This aspect results in subtraction or addition logic aimed at dematerialisation goals and reduction of embodied energy.

Circularity and energy efficiency (ARUP, 2020) enhance the waste and refuse streams of urban settlements (Ranjbari et alii, 2022), complementing the organic component with residues from wastewater treatment plants, which harbour unexpressed potential (Liu et alii, 2020). Water flows, where surface, groundwater, or reclaimed water is an energy resource in a geothermal context (Bayer et alii, 2019) or a second-life resource through wastewater collection-recovery-reuse processes, are integrated to achieve climate change mitigation (EEA, 2019, 2022) and decarbonisation goals (Plucienik-Koropczuk, Myszograj and Mąkowski, 2022; Romano et alii, 2023) linked to the City Water Resilience Approach (Rockefeller Foundation et alii, 2019).

Starting with circular approaches, the methodology development then focuses on articulated experimentation, for which the contribution presents a pilot case – the area of the Ex SNIA Viscosa in Rome, the most complex of the sites identified in the research activities – in which two ‘circular adaptive reuse’ scenarios are compared. The site, a significant witness to the history of the textile industry of the 1920s-30s, is located in a particular and environmentally fragile urban context with a strong landscape value, traversed by significant flows of material, ecological and energy resources.

Compared to the state of the art, the research leads to a more articulated definition of an adaptive reuse intervention of industrial heritage in relation to a logic of circularity of flows and non-renewable resources toward an energy and ecological transition, placing itself in line with the H2020 CLIC¹ Project – which applies circular economy principles to Cultural Heritage for environmentally, socially, culturally, and economically sustainable urban / territorial development (Foster, 2020) – by broadening the vision from building to site. In the application of urban mining principles, overcoming definitional logic on the subject represents the trigger for an interdisciplinary vision that changes the meaning of divestment processes, a condition for initiating new cycles.

Research methodology | The adopted methodology is non-scalar – relying on circularity strategies that act from the territorial dimension to that of the

Circularity Level	Circularity Indicator
Material resources and components	Use of materials from reused or recycled sources
	Reuse of material resources and components
	Recycling of material resources and components
	Embodied energy in materials
	Embodied carbon in materials
Energy resources	Energy accumulation, storage and reuse
	Energy production from renewable energy sources
	Electrical energy demand
Water resources	Thermal energy demand
	Accumulation, storage and reuse of rainwater
	Wastewater accumulation, storage and reuse (grey and black)
	Water footprint
Waste	Water demand for indoor use
	Water demand for outdoor use
CO ₂ emissions (use stage carbon)	Waste production
	Waste recovery
	CO ₂ emissions linked to total water demand
	CO ₂ emissions related to energy production (electricity and heat)
	CO ₂ emissions related to waste production

Tab. 2 | Framework of Levels and Indicators of Circularity (credit: the Authors, 2023).

building component – intersectoral and interdisciplinary; it is structured in four steps, the second of which was experimental, and was carried out, over time, in an iterative manner. The structure of the operational steps is as follows.

A cognitive Phase 1) focuses on: 1.1) a review of thematic international literature for defining approaches, strategies and systems for evaluating circularity in the design of the existing; 1.2) the collection, selection and comparison of exemplary best practices (for defining site characters, production architectures and operations adopted in the transformation); 1.3) the identification of pilot cases for experimentation, differentiated from the type-techno-morphological and geographical point of view.

Phase 2) Experimentation on different sites, identified in Phase 1.3, consists of: 2.1) the knowledge of the historical evolution of fabrics, productive architectures and local supply chains; construction of the microclimatic, biophysical and morphological context conditions of the sites; 2.2) the mapping of the existing and potential resource flows, which cross the different sites; 2.3) the identification and consultation of stakeholders; 2.4) the definition of the functional program and verification of potential unexpressed demands; 2.5) an in-depth study of the morphological-constructive approach strategy (emptying/densification). The pilot cases investigated in the experimental / application phase of the research include profoundly different sites: the former Mira-Lanza in Rome (Baiani, Altamura and Giordano, 2022); the ATAC garages in Piazza Ragusa (Luciano et alii, 2023) and Piazza Bainsizza in Rome; the waste-to-energy plants in Colleferro (Baiani, Altamura and Rossini, 2023); the former SAI in Passignano sul Trasimeno (Baiani, Turchetti and Romano, 2024); the former SITOCO in Orbetello; the former Hangar Rossi on Lake Bracciano; and the Mayfield railway and textile manufacturing site in Manchester (Pedata, Altamura and Rossi, 2024). Knowledge and mapping steps were tested on the sites, verifying the systemic ways of reading ma-

terial and immaterial flows developed from approaches related to urban metabolism. Specifically, at each site, a preliminary material stock estimation was carried out (Luciano et alii, 2023) to understand the pre-existing environmental value in terms of embodied energy and carbon.

Phase 3) Evaluation of the levels of circularity achieved in the adaptive reuse scenarios was developed through the construction of a framework of specific indicators (investigated in Phase 1.1), while Phase 4) Critical Synthesis is concerned with analysing the results of the experiments and structuring directions for the ‘circular adaptive reuse’ of the industrial heritage.

In the best practices analysed (Fig. 1) and in projects conducted by the Research Group on case applications (Fig. 2), the theme of ‘gap reintegration’ was addressed by placing concepts of intensification and deconstruction alongside the theme of protection, guided by critical selection and choice. The two dichotomous terms define a specific condition of the brownfield site, which, while retaining the essential and connotative characteristics of the heritage site, is transformed by a process of naturalisation activated by vegetation, which takes over the built environment and retains the ability to reconnect the textures of the existing, creating new systems of connection, in synergy with historical remains.

International references and best practices |

Starting from an advanced cognitive stage, based on a review of the international literature on the concepts of adaptive reuse of industrial assets related to the concepts of circularity and resilience (De Gregorio et alii, 2020; De Joanna, Bronzino and Lusi, 2022) Phase 1.2 of the research saw the construction of an analytical-assessment comparison framework (Tab. 1) of best practices including but not limited to C-Mine in Genk (Belgium), Lottozero in Prato (Italy), Gare Maritime in Brussels (Belgium), Juili Workspace Creative Industrial Center in Shang-

hai (China) and Aalto Siilo in Oulu (Finland). The cases were selected and mapped by considering the use of circular processes in the context of conservation and adaptive reuse activities, or the activation of circular processes ‘through’ and ‘downstream’ of the intervention.

The case of the Winterslag coal mine transformed into C-Mine (2010) represents a cornerstone of the sustainability-oriented adaptive reuse approach with an emphasis on social and economic aspects. The project featured a participatory process that mapped out uses and stakeholders, leading to the creation of open spaces for use by the local community and various other users. The significant and impactful mining site has been converted into a hub for the creative industry, which also houses a concert hall, a food hall, exhibition spaces and tourist fruition services. The adaptive reuse project saw the preservation of machinery and materials, with an approach focused on the circularity of materials and resources limited to a few items, such as flooring components.

Similarly, albeit on a much smaller scale, the Lottozero project in Prato in 2016 saw the adaptive reuse of a 1950s food and beverage wholesale warehouse aimed at activating a hub for textile research in design, fashion and art. In line with the goals of circularity, what is interesting is not so much the strategy of preservation and enhancement of materials and building characters in the warehouse, but rather the activation of circular economy processes for the local textile supply chain, with the creation of spaces to support research activities on waste materials.

In contrast, the other three case studies represent more consciously oriented approaches towards the energy and circular transition. In particular, the Gare Maritime in Brussels, an early 20th-century freight traffic station, has seen a radical transformation into a multipurpose space (offices and retail space) with processes characterised by the recovery and reuse of stone components from the surrounding docks for the building’s façade and floors, but also by the extensive use of reversible and low-carbon wood building systems. In addition, the project featured extensive architectural integration of photovoltaics (BIPV) in the windows, the use of passive energy-saving solutions, including heat recovery, and the activation of a closed rainwater cycle.

Through a similar approach, the Juili Workspace Creative Industrial Center in Shanghai was transformed from a logistics and warehousing company’s warehouse into a Creative Industry Center open to the local community with offices and services. The intervention involved the recovery and reuse of containers and bricks, integrated into the adaptive reuse project, while at the same time activating passive heating and natural lighting solutions.

Finally, the recovery project of the Aalto Siilo, a 1930s signature building that was part of the Topila pulp mill industrial complex in operation until the late 1980s, represents a fully circular approach to the adaptive reuse of industrial heritage. This example, although reduced to the scale of a few buildings and predominantly centered on the silo itself, saw the designers adopt a design strategy clearly aimed at the energy and circular transition, in an integrated way and with a culturally highly participatory process, thanks to the involvement of the Fac-

Technical element and component / material		Technical actions downstream of selective demolition or deconstruction	Detailed description
External infill masonry	Plaster	On-site recycling	The component is demolished and reused as a substrate for the external paving
	Bricks	On-site reuse	External brick infill masonry is removed to be reused for new masonry
Load-bearing structure	Concrete pillar	On-site reuse	Some pillars are removed to be reused as supports for greenhouse pots and obstacles for trial-bike paths
	Concrete beam	On-site reuse	Some beams are removed to be reused as supports for the greenhouse pots and obstacles for the trial-bike trails
	Reticular beam	On-site reuse	Some beams are removed to be reused as support structures for the outer envelope of greenhouses
	Shed beam	On-site reuse	Some beams are removed to be reused as support structures for the outer envelope of greenhouses
Intermediate slab	Plaster	On-site recycling	The component is demolished and reused as a subfloor for the external flooring
	Hollow flooring block	On-site recycling	The component is demolished and reused as a subfloor for the external flooring
	Concrete slab	On-site recycling	The component is demolished and reused as a subfloor for the external flooring
External window or doorframes	Metal frame	On-site reuse	The frames are in a good state of preservation, therefore they are retained
	Glass pane	Off-site recycling	Removal of the glass panes because they are heavily fragmented

Tab. 3 | Overview of actions aimed at circular use of components / materials downstream of selective demolition / deconstruction of technical elements in the first project scenario on the Ex SNIA (credit: the Authors, 2023).

tum Foundation. The key objective was to reactivate the complex through a functional mix, featuring a cultural centre, public sauna, research and office space. Once again, the adaptive reuse process is characterised by the recovery and reuse of wood components from the silo and concrete elements from the building and surrounding buildings; at the same time, new energy production from renewables is activated, making parallel use of heat recovery, to power the sauna, as well as water recovery.

As stated in the research objectives, the approach tested in the pilot cases differs from those found in best practices either because of the complexity and/or size of the sites under consideration, but also for the nature of the contexts, characterised in several cases by fragile environmental conditions, as well as for the systemic reading of resource flows upstream of the very definition of design strategies, and for the attempt to structure a holistic framework of solutions for the energetic and circular transition of the heritage, consistent with the need to preserve the memory of the place and the original productive activities, but driven toward the activation of circular processes, induced by the adaptive reuse intervention itself, that reverberate on the territory around the site.

The experimental approach, therefore, envisages a circular vision in which closed-loop processes characterise both adaptive reuse interventions and the behaviour of the regenerated complex throughout its useful life, supporting efficient and circular management of all resource flows, whether material, energy, water, but also immaterial, cultural, economic and social.

Scenarios of ‘circular adaptive reuse’ of the Ex SNIA Viscosa | In the pilot case, the area of the Ex SNIA Viscosa in Rome (Fig. 3), two scenarios of ‘circular adaptive reuse’ based on deconstruction and intensification are tested, analysing their different declinations in the logics of energy, ecological and digital transition of the urban system. The site, significant historical evidence of the textile industry of the 1920s-1930s in which cellulose yarn (Viscosa) was produced, and completely decommissioned in 1955, is part of a fragile environmental context, with a strong naturalistic and landscape

value, which is identified in documents of the Regional Territorial Landscape Plan (PTPR) as an area of considerable public interest (PTPR, ‘Carta della Qualità del PRG’, according to Art. 134 and 136 of Italian Legislative Decree 42/2004), an urban area subject, over time, to rehabilitation and redevelopment projects. The factory’s production system stands next to the existing Energy Park, in an area characterised by a lake created during excavation to construct a commercial complex (never completed) and supplied by spring water from the Maranella ditch (Fig. 4).

In the two scenarios, the intervention investigates different operational actions guided by logics of addition or subtraction with selective deconstruction, consistent with the typological modularity and constructive seriality of the industrial heritage, for the definition of integrated solutions for the energetic, ecological and digital transition (Rigillo, Galluccio and Paragliola, 2023), through the adoption of responsive and adaptive systems that are integrated, with more conservative logic in one case and more transformative in the other. On the one hand, the main efforts focus on the flows of energy, water, production waste, and waste by setting up a textile waste recovery hub to produce semi-finished products for various supply chains. On the other hand, plant resources and residual biomass, energy flows, and materials have been utilised to create an urban agriculture hub, production, sales, and consumption network with neighbourhood markets in the urban sector to limit food waste, transportation, and related CO₂ emissions.

Based on the two approaches, in the first case, the adaptive reuse process is aimed at the preservation and reuse of specific structures of the industrial system, that is, the historical part of the complex, for the activation of the urban agribusiness chain, capable of enhancing the symbiotic exchange between man and nature in a place that has been undergoing a re-naturalization process for several years. This reactivates existing flows and supply chains in the area, returning them to the brownfield site in continuity with horticultural activities in the Energy Park.

In the second case, the adaptive reuse process is aimed at the densification of the built environment, intervening according to a logic of intensifi-

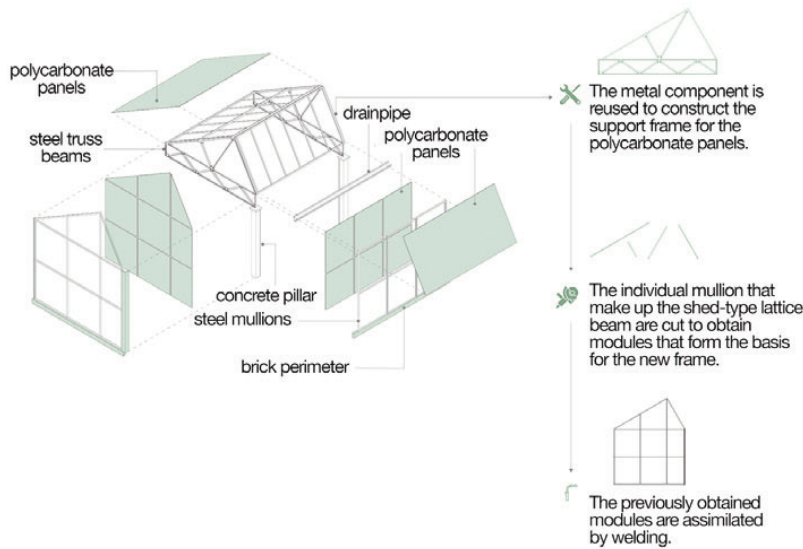
cation that enhances the connections and spatiality of the existing, tracing the lost factory site and integrating, through lightweight and disassemblable structures, a new textile production that, in line with the original production vocation, reconstructs and integrates different waste textile flows from the area, to create a hub for the practice of reuse and mechanical recycling of textile fibres.

The two circular approaches, exemplified in the development of design hypotheses at the concept level (Fig. 5, 6), highlight different logics, intervening dichotomously in the process of reintegrating the gap: a) maintaining the existing ‘gap’, implementing it and returning the site to its natural layout (with appropriate remediation scenarios) in the expectation of hosting an agri-food hub that experiments, in the urban context, with hydroponic and aquaponic systems, integrating them with naturalistic components and urban gardens in the wide area; b) integrating the built with lightweight and disassemblable technological solutions that redefine the factory’s volumetry, hosting a textile hub (from production, to recovery, to training) in continuity with the viscose production process.

The concept definition processes stem from an integrated and complex reading of the various resource flows, which sees, on the one hand, the valorisation of plant resources, residual biomass, energy and material flows, with the realisation of a hub for urban agriculture (network of production, sale and consumption with the district markets of the urban sector, aimed at limiting food waste, transportation and related CO₂ emissions), and on the other hand, a project developed on the flows of energy, water, production waste and waste, with the realisation of a hub for the recovery of textile waste for the production of semi-finished products destined for different supply chains, considering the logic of recovery, reuse, and recycling of resources from the lot or sites bordering it, from the built environment or existing or integrated production processes (Fig. 7).

In the two design scenarios, the processes of mapping materials and resource flows are consistent with the modularity and seriality of industrial assets. Adaptive reuse design, in its technological-environmental approach and lifecycle perspective, layers responsive and adaptive systems that inte-

SCHEMATIC DIAGRAM OF MATERIAL REUSE



CIRCULARITY STRATEGIES

MATERIALS

Objective: Limit the CO₂ emissions associated with new materials and the related processes by taking advantage of the materials the buildings in the area are composed of.

How:

by cataloguing existing materials;
by providing for on- and off-site reuse and recycling processes.

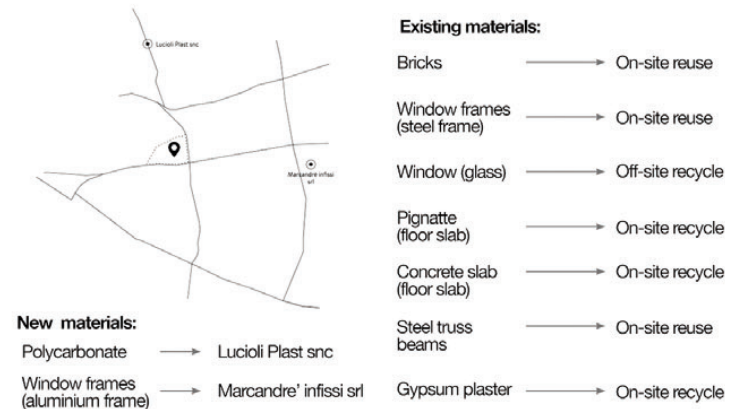


Fig. 10 | Outline of circularity strategies applied to components and materials, with the hypothesis of reusing metal components (credit: the Authors, 2023).

grate – in one case with a more conservative logic, in the other with a more transformative approach – with the existing, exemplifying Transition Design operations (Irwin, 2018), capable of addressing critical issues systemically, to build and nurture a relationship of strategic complementarity between ecology, energy, and digital.

Through participatory processes, the 'circular adaptive reuse' scenarios also intend to engage the community, among the relevant stakeholders in the mapping process intended to read the needs underlying the project and translate them into concrete outputs toward an (also digital) transition of the identified flows and supply chains (Fig. 8). The reactivation processes of industrial sites, following a non-scalar, interdisciplinary and intersectoral methodology, focus on a phase of analysis and knowledge of present and potential resource flows (material and immaterial, internal and external). This phase is preparatory, in parallel, to the reactivation of the productive or production / cultural functionalities of the areas and the identification of additional potential and characterising chains / flows of the territory, to which the site can contribute to the balance from a material, energy and economic point of view, towards a circular economy-oriented innovative business models and technologies (Fig. 9).

Evaluation of circularity levels achieved in adaptive reuse scenarios | The measurement of the Level of Circularity (LoC) achieved over time, consistent with the effectiveness of applied strategies, is constructed based on specific dimensions of sustainability related to material resources and technical components, energy and water resources, waste and emissions (UNI/TS 11820: 2022; Material Circularity Indicator, Reuse Potential Indicator, Sustainable Circular Index). Each dimension implies a set of indicators representing the share of circular materials, renewable energy, water recovered and reused, and waste sent for recycling, compared to the total used in the production of the product and quantified over the product's life cycle (Tab. 2). The single or composite indicators considered were se-

lected referencing micro (product), meso (building) and macro (fabric) levels of application and in relation to the strategic 6Rs (Reuse, Recycle, Redesign, Remanufacture, Reduce, Recover).

Measuring the level of circularity is also essential when calculating impacts and adopting measures to mitigate, reduce and offset climate-changing emissions to improve the environmental performance of building systems. The main strategies and technical actions implemented in the case of the Ex SNIA are given as non-exhaustive examples, in the two 'circular adaptive reuse' scenarios. Only some of the circularity indicators evaluated to verify the effectiveness of the intervention on material, energy and ecological flows are mentioned with the related results.

Regarding 'material resources and technical components', with the specific objective of limiting the CO₂ emissions associated with the use of new materials and related processes, the components of the buildings in the former SNIA area are reused through selective demolition processes, cataloguing of existing materials, and provision for on-site and off-site reuse and recycling, as detailed in Table 3. For example, the metal components of the supporting structure, with a view to deconstruction and circular design, are reused to build the support frame for the polycarbonate panels enclosing the new greenhouses; the metal profiles that make up the 'shed'-type lattice beam are cut to make modules that will form the basis for the new framework; and the new components are assembled and connected by welding.

The circularity strategies expressed and summarised in Figure 10 allow the following circularity indicators to be calculated:

– 'use of raw materials from re-used or recycled sources'; this indicator measures and refers to materials derived from recovery, reuse and recycling processes, remanufacturing or transformation of existing products; these materials are then processed and transformed into new raw materials that can be used, in turn for the production of new products or components; the amount of secondary

raw materials is compared to the overall amount of material used to calculate the circularity indicator; a high percentage as a result of this indicator implies a high level of use of raw materials from reused or recycled sources;

– 'recycling of material resources and components'; this indicator measures the management of material resources or components once they have become waste, with particular reference to the amount of material that can be recycled, calculated as a percentage ratio to the overall amount of material resources or components used; the higher the percentage derived from the calculation of this indicator, the higher the percentage of material resources or components that can be recycled;

– 'energy embodied in materials'; this indicator measures the sum of energy flows, direct and indirect, required to produce a product or component, indicating how much energy is embodied in the product itself; it is an indicator that, straddling the levels of circularity of material and component resources and those of energy resources, is capable of identifying inefficiencies due to energy use and can also be expressed as the amount of non-renewable energy out of the total energy required to produce a product.

The transformation scenario of the Ex SNIA into a hub for agricultural production, for example, sees the deconstruction/demolition of about 4,500 tons of materials, of which 94% is reused, through reuse or recycling, in the regeneration of the site and building complex. Concerning metal components (1,800 linear meters of profiles disassembled by deconstructing the support trusses of the now collapsed sheds of the factory roof were reused on-site to make the support structure of the polycarbonate panels of the hydroponics greenhouse envelope), it should be noted that the percentage of raw materials from reuse is 85% of the total metal used to make the structure of the greenhouses, while that of recyclable material resources is 100%; the energy incorporated in the reused iron components is estimated to be about 2 million MJ.

Regarding 'energy resources', starting from the

specific objectives of producing energy from renewable energy sources and, at the same time, establishing a system that aims to eliminate food waste and organic waste in the area of the Ex SNIA, with a net-zero perspective, the strategies and technical actions include the allocation of organic waste to biogas plants, to produce useful electric and thermal energy on-site and in the surrounding areas, and the installation of photovoltaic panels and solar collectors integrated in the roofs of the buildings, appropriately sized and oriented.

The circularity strategies pictured in Figure 11 make it possible to calculate the circularity indicators for:

– ‘energy accumulation, storage, and reuse’; this indicator measures the amount of energy accumulated and stored, which enables the reuse of this resource generated from various renewable sources to reuse it when there is greater demand or at the same time to ensure continuity in the event of black-outs or other emergencies, measured in relation to

overall energy (heat and electricity) production; a high percentage as a result of this indicator implies a high level of energy reuse;

– ‘energy production from renewable energy sources’; this indicator is intended to measure the amount of energy (heat and electricity) produced from renewable energy sources, calculated as a percentage of the total energy production used in the intervention area; a high percentage as a result of this indicator implies a high input from renewable energy sources.

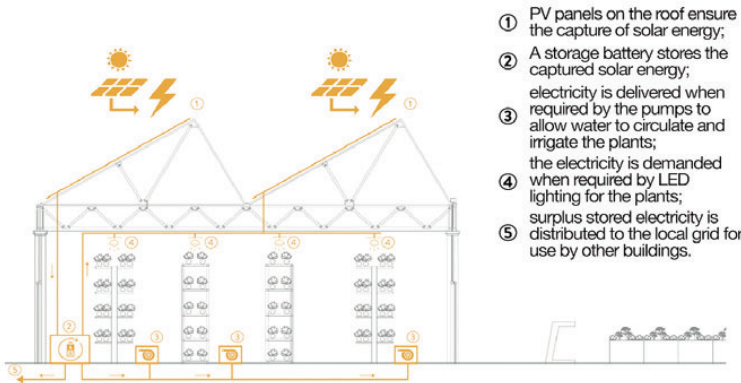
In the specific case of the indicator related to energy production from renewable sources, the percentage of circularity for the electrical component corresponds to 97%, of which 63% is from roof-integrated photovoltaic systems and the remaining 34% is from cogeneration plant fuelled by biomethane (resulting from the transformation from biogas through biodigester) while for the thermal component, the energy production from renewable source indicator corresponds to 79%, covering the

heating needs for winter and summer air conditioning and DHW production.

Regarding storage and accumulation systems aimed at energy reuse, batteries serving industrial activities offer a wide range of electric energy storage options, from a few kW to several MW, and provide continuous electric energy for many hours, depending on the required power. For this reason, the circularity indicator of energy storage, accumulation, and reuse is equivalent to 100%, i.e., covering the entire electric energy demand for more than 24 hours of continuous activity.

With reference to ‘water resources’, starting from the goal of maximising the role of the water resource in achieving climate change mitigation and decarbonisation targets, and the specific objectives of reducing runoff by utilising wastewater and stormwater as resources for irrigation of green areas in the Ex SNIA area, with a net-zero perspective, strategies and technical actions provide for the implementation of wastewater and stormwater col-

SCHEMATIC DIAGRAM OF OPERATION OF SOLAR THERMAL AND ELECTRIC POWER PLANTS



- ① PV panels on the roof ensure the capture of solar energy;
- ② A storage battery stores the captured solar energy;
- ③ electricity is delivered when required by the pumps to allow water to circulate and irrigate the plants;
- ④ the electricity is demanded when required by LED lighting for the plants;
- ⑤ surplus stored electricity is distributed to the local grid for use by other buildings.

CIRCULARITY STRATEGIES

FOOD, WASTE AND ENERGY

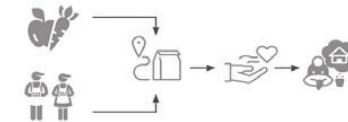
Objective: bring to life a system that aims to eliminate food waste, transforming food chain waste/waste into usable resources for soil fertilization (compost) and energy production (biogas), coping with the growing food needs of an ever-expanding population.

How:

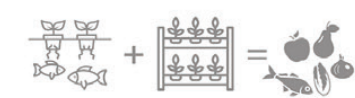


By allocating organic waste to biogas plants in Latium to produce electricity and thermal energy usable for the city and to obtain compost usable as fertilizer for urban agriculture.

By eliminating emissions and food spoilage during transport, since production and consumption take place on-site.

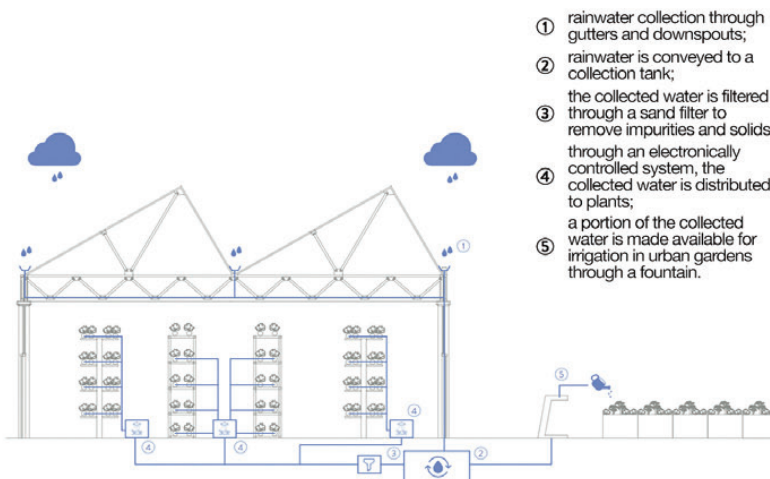


By allocating the production that is not sold daily and the preparations that take place in the kitchen laboratory to contracted canteens.



By adopting technologies for maximizing the quantity and efficiency of food production such as hydroponics and aquaponics type cultivation.

STORMWATER COLLECTION AND REUSE SCHEME



- ① rainwater collection through gutters and downspouts;
- ② rainwater is conveyed to a collection tank;
- ③ the collected water is filtered through a sand filter to remove impurities and solids;
- ④ through an electronically controlled system, the collected water is distributed to plants;
- ⑤ a portion of the collected water is made available for irrigation in urban gardens through a fountain.

CIRCULARITY STRATEGIES

WATER

Objective: run-off reduction and utilization of rainwater as a water resource for plant irrigation.

How:

rainwater harvesting system by installing appropriate downspouts and storage tanks with filtering and pumping systems for reuse;

technical greenery for drainage and water harvesting for irrigation.

Hanging green on the counter-ground slab: reduces the surface runoff of rainwater and allows some of the collected water to be filtered and stored;

Hanging green on the roof of the sports facility: reduces the surface runoff of rainwater, allows storage for water reuse, and allows green spaces to be enjoyed by improving the usability of the surfaces.

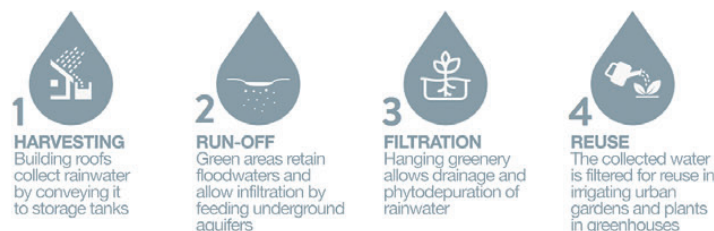


Fig. 11 | Operating scheme of solar thermal and power plants and circularity strategies to reuse food and organic waste for energy (credit: the Authors, 2023).

Fig. 12 | Stormwater collection and reuse scheme and circularity strategies aimed at implementing wastewater and stormwater collection-recovery-reuse processes (credit: the Authors, 2023).

lection-recovery-reuse processes by conveying water from non-polluted draining surfaces into the stormwater network and collection ponds, installation of separate stormwater and wastewater (grey and black) recovery facilities.

The circularity strategies explicated in Figure 12 make it possible to calculate the circularity indicators for:

– ‘stormwater collection, storage and reuse’; this indicator measures the amount of water resource originating from building roofs or any other surface, channelled to facilities that provide for the collection, filtering (treatment, if necessary) and reuse of stormwater in activities that typically do not require water quality to meet potability criteria; a high percentage as a result of this indicator ensures a high level of circularity of the stormwater resource;

– ‘collection, storage and reuse of wastewater’ (grey and black); this indicator measures the presence and effectiveness of facilities to ensure the collection and treatment for subsequent use for ‘secondary’ uses of grey water from sinks, tanks, and, in some cases, condensates from winter and summer air conditioning systems; it also separately measures the presence and effectiveness of facilities to ensure the collection and treatment for subsequent use for ‘secondary’ uses of black water; a high percentage outcome of this indicator ensures a high level of wastewater circularity.

Conclusions and research perspectives | The research significantly impacts the Scientific Community, filling an obvious gap in the interpretation of industrial heritage as a resource with a dual value, not only cultural and spatial but also material and energetic, leading to an advancement of knowledge related to intervention on and in the existing, through the construction of a complex approach to adaptive reuse, oriented to climate neutrality and

efficient and circular use of resources, consistent with the Green Building Approach.

In fragile contexts, the main objective is developing a circular approach to the adaptive reuse of industrial sites for constructing low-carbon and low-energy intervention methodologies, as well as the definition of circular, ecological, and energy project evaluation systems in an integrated operational framework of traditional and innovative technologies. Also innovative, in comparison with contemporary experiments, is the holistic approach that interprets the interactions between the resource flows that characterise the site, converge in the building organism, and spread throughout the context: the circular view of material, energy, and ecological resource flows permeates the fabric-building-component system in the adaptive design of the existing. The most obvious limitations are determined by the complexity of implementing multidisciplinary approaches in a multicriteria operating system, which emerges especially when assessing levels of circularity. The indicator systems refer to multiscale systems, consistent with the different components of industrial sites, whose application shows heterogeneous indices, which are only sometimes applicable in a simplified mode.

The operational methodology, finalised in the research, also paves the way for the involvement of the local community; it starts with the mapping of needs placed at the basis of the project through proactive processes, including the activation of creative industry initiatives as forms of conservation of ecological, energy and material resources in a circular ecosystem.

The research perspectives are oriented on two levels: the gradual systematisation of the results – obtained in the experiments for scenarios developed on the different cases examined through a critical synthesis of the outcomes – allows for the

extrapolation of operational guidelines, to be structured in the form of project guidelines and to be submitted to public contracting stations and heritage management agencies, such as the State Property Office; in-depth study of systems for the evaluation of the circularity of adopted solutions, comparing specific indicators, indices and protocols, enables the development of a specific model for circular adaptive reuse strategies, also by transferring complex approaches (such as the Sustainable Circular Index) with the combination of multiple indicators, to understand the effects of processes from a Life Cycle Thinking perspective.

Acknowledgements

This paper is the product of research and experimentation activities carried out in continuity since 2015 with the relevant territorial administrations on the individual sites of experimentation, specifically and in depth investigated within the following projects funded by ‘Sapienza’ University of Rome:

– University Research ‘NZEHB – The Historic Building in the Scenario of Ecological and Energy Transition – Circular Approach, Energy Improvement, Adaptive Reuse’ (lit. ‘NZEHB | L’edificio storico nello scenario della transizione ecologica ed energetica | Approccio circolare, miglioramento energetico, riuso adattivo’), 2022-2024; Principal Investigator: S. Baiani; Research Group: P. Altamura, G. Turchetti, G. Romano with A. Campa, M. Janeva and M. S. Elkaranshaw; y;

– PON Research (Italian DM 1062/2021) ‘Climate, green technologies and circular communities – Design of innovative settlement models according to the Green Building Approach for the purpose of climate change mitigation and reduction of their impacts, through sustainable management of technologies and resources’ (lit. ‘Clima, tecnologie green e comunità circolari | Progettazione di modelli insediativi innovativi secondo il Green Building Approach ai fini della mitigazione dei cambiamenti climatici e della riduzione dei loro impatti, attraverso la gestione sostenibile di tecnologie e risorse’), 2021-2024; Scientific Coordinator: F. Tucci; Researcher: P. Altamura.

Note

1) For more information on the CLIC Project, see the webpage: clicproject.eu/deliverables/ [Accessed 15 April 2024].

References

ACE – Architects Council of Europe (2018), *Leeuwarden Declaration – Adaptive re-use of the built heritage – Preserving and enhancing the values of our built heritage for future generations*, Adopted on 23 November 2018 in Leeuwarden. [Online] Available at: ace-cae.eu/uploads/tx_jidocumentsview/LEEWARDEN_STATEMENT_FINAL_EN-NEW.pdf [Accessed 15 April 2024].

ARUP (2020), *Five-minute guide – Zero net energy in buildings*. [Online] Available at: arup.com/perspectives/publications/promotional-materials/section/five-minute-guide-to-net-zero-energy-in-buildings [Accessed 15 April 2024].

ARUP (2016), *The circular economy in the built environment*. [Online] Available at: arup.com/perspectives/publications/research/section/circular-economy-in-the-built-environment [Accessed 15 April 2024].

Baiani, S., Altamura, P. and Giordano, R. (2022), “Giacimenti della memoria e Miniere urbane – Rigenerazione del patrimonio industriale in ottica di eco-compatibilità, decarbonizzazione, circolarità – L’ex Mira Lanza a Roma”, in Currà, E., Docci, M., Menichelli, C., Russo, M. and Severi,

L. (eds), *Stati Generali del Patrimonio Industriale 2022*, Marsilio Editori, Venezia, paper 9.1.14.

Baiani, S., Altamura, P., Lucchi, E. and Romano, G. (2023), “Integration of Solar Technologies in Historical Buildings – Construction of an Evolutionary Framework of Good Practices”, in Sayigh, A. (ed.), *Mediterranean Architecture and the Green-Digital Transition, Innovative Renewable Energy*, Springer, Cham, pp. 253-263. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-031-33148-0_21 [Accessed 15 April 2024].

Baiani, S., Altamura, P. and Rossini, G. (2023), “Il rovesciamento della piramide – Superiuso dei Termovalorizzatori di Colleferro | The reverse Pyramid – Superuse of Colleferro Incinerators”, in Baratta, A. F. L., Calcagnini, L. and Magarò, A. (eds), *Atti del V Convegno Internazionale Recycling | Proceeding of the 5th International Conference Recycling*, Anteferma, Edizioni, Conegliano (TV), pp. 132-145.

Baiani, S., Turchetti, G. and Romano, G. (2024), “Widespread Industrial Heritage in Fragile Sites as a Resilient Resource – A Life Cycle and NetZero Approach to Regeneration”, in Battisti, A. and Baiani, S. (eds), *ETHICS – Endorse Technologies for Heritage Innovation – Cross-disciplinary Strategies*, Springer, Cham, pp. 243-262. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-031-50121-0_15 [Accessed 15 April 2024].

Battisti, E. (2001), *Archeologia industriale – Architettura, lavoro, tecnologia, economia e la vera rivoluzione industriale*, Jaca Book, Milano.

Bayer, P., Attard, G., Blum, P. and Menberg, K. (2019), "The geothermal potential of cities", in *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 106, pp. 17-30. [Online]. Available at: doi.org/10.1016/j.rser.2019.02.019 [Accessed on 15 April 2024].

De Gregorio, S., De Vita, M., De Berardinis, P., Palmero, L. and Risdonne, A. (2020), "Designing the Sustainable Adaptive Reuse of Industrial Heritage to Enhance the Local Context", in *Sustainability*, vol. 12, issue 21, article 9059, pp. 1-20. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su1219059 [Accessed on 15 April 2024].

De Joanna, P., Bronzino, E. and Lusi, V. (2022), "Resilienza e circolarità nel progetto edilizio sostenibile – Strumenti di valutazione integrata preliminare | Resilience and circularity in sustainable building design – Integrated tools for pre-intervention assessment", in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 12, pp. 122-135. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/12112022 [Accessed 15 April 2024].

Douet, J. (ed.) (2022), *Industrial Heritage Reloaded | National Reports 2019-2022 on Industrial Heritage presented on the Occasion of the XVIII International TICCIH Congress, Canada Research Chair in Urban Heritage, Université du Québec à Montréal 28/08-03/09 2022*, Montreal. [Online] Available at: ticcih.org/wp-content/uploads/2022/08/2022-TICCIH-National-Reports.pdf [Accessed 15 April 2024].

EEA – European Environment Agency (2022), *Beyond Water Quality – Sewage treatment in a circular economy*, EEA Report n. 05/2022. [Online] Available at: doi.org/10.2800/897113 [Accessed 15 April 2024].

EEA – European Environment Agency (2019), *Adaptation Challenges and Opportunities for the European Energy System – Building a climate resilient low-carbon energy system*, EEA Report n. 01/2019. [Online] Available at: doi.org/10.2800/227321 [Accessed 15 April 2024].

EU Water Alliance (2020), *Opportunity and necessity for Europe to build a water-smart society and circular economy*. [Online] Available at: eu-wateralliance.eu/wp-content/uploads/EU-Water-Alliance-Manifesto.pdf [Accessed 15 April 2024].

EURES (2019), *Sostegno alla competitività del territorio attraverso il recupero e la valorizzazione dei siti industriali dismessi nella Provincia di Roma – Relazione Illustrativa del progetto – Bando per il sostegno alla competitività delle imprese per lo sviluppo economico del territorio 2019 – I edizione – Sezione A*. [Online] Available at: rm.camcom.it/moduli/downloadFile.php?file=oggetto_incarichi_art18/1924412141710__OPROGETTO+EURES.pdf [Accessed 15 April 2024].

European Commission (2021), *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – 'Fit for 55' – delivering the EU's 2030 Climate Target on the way to climate neutrality*, document 52021DC0550, 550 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021DC0550 [Accessed 15 April 2024].

European Commission (2020a), *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – Stepping up Europe's 2030 climate ambition Investing in a climate-neutral future for the benefit of our people*, document 52020DC0562, 562 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52020DC0562 [Accessed on 15 April 2024].

European Commission (2020b), *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – A new Circular Economy Action Plan For a cleaner and more competitive Europe*, document 52020DC0098, 98 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52020DC0098 [Accessed on 15 April 2024].

European Commission (2019), *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the*

European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – A Renovation Wave for Europe – Greening our buildings, creating jobs, improving lives, document 52020DC0662, 662 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52020DC0662 [accessed on 15 April 2024].

Foster, G. (2020), "Circular economy strategies for adaptive reuse of cultural heritage buildings to reduce environmental impacts", in *Resources, in Conservation and Recycling*, vol. 152, article 104507, pp. 1-14. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.rscres.2019.104507 [Accessed 15 April 2024].

Ghisellini, P., Ripa, M. and Ulgiati, S. (2018), "Exploring environmental and economic costs and benefits of a circular economy approach to the construction and demolition sector – A literature review", in *Journal of Clean Production*, vol. 178, pp. 618-643. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.207 [Accessed 15 April 2024].

Ghisellini, P., Cialani, C. and Ulgiati, S. (2016), "A review on circular economy – The expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems", in *Journal of Cleaner Production*, vol. 114, pp. 11-32. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007 [Accessed 15 April 2024].

Gravagnuolo, A., Angelis, R. and Iodice, S. (2019), "Circular Economy Strategies in the Historic Built Environment – Cultural Heritage Adaptive Reuse", in *Proceedings of the STS Conference Graz 2019*, pp. 121-144. [Online] Available at: doi.org/10.3217/978-3-85125-668-0-08 [Accessed 15 April 2024].

Gustafsson, C. (2019), "Conservation 3.0 – Cultural heritage as a driver for regional growth", in *SCIRES it | Scientific REsearch and Information Technology*, vol. 9, issue 1, pp. 21-32. [Online] Available at: doi.org/10.2423/i22394303v9n1p21 [Accessed 15 April 2024].

Irwin, T. (2018), "The Emerging Transition Design Approach", in Storni, C., Leahy, K., McMahon, M., Lloyd, P. and Bohemia, E. (eds), *Design as a catalyst for change | DRS International Conference 2018, 25-28 June, Limerick, Ireland*. [Online] Available at: doi.org/10.21606/drs.2018.210 [Accessed 15 April 2024].

Liu, F., Tait, S., Schellart, A., Mayfield, M. and Boxall, J. (2020), "Reducing carbon emissions by integrating urban water systems and renewable energy sources at a community scale", in *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 123, article 109767, pp. 1-14. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.rser.2020.109767 [Accessed 15 April 2024].

Luciano, A., Altamura, P., Baiani, S. and Cutaia, L. (2023), "The building stock as an urban mine – The case of the circular regeneration of disused buildings", in *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, vol. 33, article 101104, pp. 1-18. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.scp.2023.101104 [Accessed 15 April 2024].

McKinsey&Company (2015), *Growth within – A circular economy vision for a competitive Europe*. [Online] Available at: mckinsey.com/capabilities/sustainability/our-insights/growth-within-a-circular-economy-vision-for-a-competitive-europe [Accessed 15 April 2024].

Pedata, L., Altamura, P. and Rossi, L. (2024), "Turning Heritage Railway Architecture into an Infrastructure for Resilience and Circularity – An Opportunity for Sustainable Urban Regeneration", in Battisti, A. and Baiani, S. (eds), *ETHICS – Endorse Technologies for Heritage Innovation – Cross-disciplinary Strategies*, Springer Nature, Cham, pp. 329-358. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-031-50121-0_20. [Accessed 15 April 2024].

Pluciennik-Koropeczuk, E., Myszograj, S. and Mąkowski, M. (2022), "Reducing CO₂ Emissions from Wastewater Treatment Plants by Utilising Renewable Energy Sources – Case Study", in *Energies*, vol. 15, issue 22, article 8446, pp. 1-14. [Online] Available at: doi.org/10.3390/en15228446 [Accessed 15 April 2024].

Potting, J., Hekkert, M., Worrell, E. and Hanemaaijer, A. (2017), *Circular Economy – Measuring innovation in the product chain*, The Hague. [Online] Available at: pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2016-circular-economy-

measuring-innovation -in-product-chains-2544.pdf [Accessed 15 April 2024].

Ranjbari, M., Shams Esfandabadi, Z., Quatraro, F., Vatanparast, H., Shiung Lam, S., Aghbashlo, M. and Tabatabaei, M. (2022), "Biomass and organic waste potentials towards implementing circular bioeconomy platforms – A systematic bibliometric analysis", in *Fuel*, vol. 318, article 123585, pp. 1-22. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.fuel.2022.123585 [Accessed on 15 April 2024].

Rigillo, M., Galluccio, G. and Paragliola, F. (2023), "Digitale e circolarità in edilizia – Le KETs per la gestione degli scarti in UE | Digital and circularity in building – KETs for waste management in the European Union", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 13, pp. 247-258. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/13212023 [Accessed 15 April 2024].

Rockefeller Foundation, Resilience Shift, SIWI and ARUP (2019), *The City Water Resilience Approach*, London. [Online] Available at: arup.com/perspectives/publications/research/section/the-city-water-resilience-approach [Accessed 15 April 2024].

Romano, G., Baiani, S., Mancini, F. and Tucci, F. (2023), "Reducing CO₂ Emissions and Improving Water Resource Circularity by Optimizing Energy Efficiency in Buildings", in *Sustainability*, vol. 15, issue 17, article 13050, pp. 1-20. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su151713050 [Accessed 15 April 2024].

The European Parliament and the Council of the European Union (2018a), *Directive (EU) 2018/844 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings and Directive 2012/27/EU on energy efficiency*, document 32018L0844, PE/4/2018/REV/1. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/eli/dir/2018/844/oj [Accessed 15 April 2024].

The European Parliament and the Council of the European Union (2018b), *Directive (EU) 2018/2002 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 amending Directive 2012/27/EU on energy efficiency*, document 32018L2002, PE/54/2018/REV/1. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/eli/dir/2018/2002/oj/ita/pdf [Accessed 15 April 2024].

UNEP – United Nations Environmental Programme (2012), *Measuring water use in a green economy – A Report of the Working Group on Water Efficiency to the International Resource Panel*. [Online] Available at: wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/8062 [Accessed 15 April 2024].

UNI/TS 11820:2022, *Measuring circularity – Methods and indicators for measuring circular processes in Organizations*. [Online] Available at: store.uni.com/uni-ts-11820-2022 [Accessed 15 April 2024].

Van Buren, N., Demmers, M., Van der Heijden, R. and Witlox, F. (2016), "Towards a Circular Economy – The Role of Dutch Logistics Industries and Governments", in *Sustainability*, vol. 8, issue 7, article 647, pp. 1-17. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su8070647 [Accessed 15 April 2024].

WEF – World Economic Forum (2021), *Circular Cities – A circular water economy for cleaner, greener, healthier, more prosperous cities*, The Imagine If Water Series, Briefing Paper July, Geneva/Cologny. [Online] Available at: www3.weforum.org/docs/WEF_Imagine_IF_Water-Series_2021.pdf [Accessed 15 April 2024].

ARTICLE INFO

Received	18 March 2024
Revised	15 April 2024
Accepted	23 April 2024
Published	30 June 2024

RIQUALIFICAZIONE E DECARBONIZZAZIONE DI EDIFICI SCOLASTICI

Il CIS Roma Scuole Verdi

DEEP RENOVATION AND DECARBONISATION OF SCHOOL BUILDINGS

The CIS Roma Scuole Verdi

Carola Clemente, Francesco Mancini, Anna Mangiatordi, Mariangela Zagaria

ABSTRACT

Il contributo illustra l'esperienza del CIS Roma Scuole Verdi, in cui il Gruppo di Ricerca DiAP dell'Università 'Sapienza' di Roma ha supportato il Dipartimento CSIMU di Roma Capitale nell'avvio di un percorso di riqualificazione energetico-ambientale e decarbonizzazione di 111 edifici scolastici distribuiti nei 15 Municipi del Comune di Roma. Attraverso un approccio sistemico e multi-scalare sono stati individuati e monitorati alcuni indicatori target di miglioramento prestazionale (KPIs), significativi per classe energetica, abbassamento delle emissioni climalteranti, riduzione dei fabbisogni energetici e approvvigionamento da fonti rinnovabili. L'apporto positivo delle soluzioni tecnologico-impianistiche implementate presenta un potenziale di replicabilità, contribuendo all'intensificazione delle azioni per il clima, con impatti sulla rigenerazione urbana e sui bilanci pubblici della città.

The contribution illustrates the experience of CIS Roma Scuole Verdi, where the DiAP Research Group of the 'Sapienza' University of Rome supported the CSIMU Department of Roma Capitale in launching a process of energy-environmental upgrading and decarbonisation of 111 school buildings distributed across the 15 Municipalities of the City of Rome. Through a systemic and multi-scalar approach, some Key Performance Indicators (KPIs) were identified and monitored, which were significant for energy class, reduction of climate-altering emissions, reduction of energy needs, and supply from renewable sources. The positive contribution of the implemented technological-plant solutions presents a replicability potential, contributing to the intensification of climate actions, with impacts on urban regeneration and the city's public budgets.

KEYWORDS

edilizia scolastica, efficienza energetica, fonti energetiche rinnovabili, neutralità carbonica, riqualificazione profonda

school buildings, energy efficiency, renewable energy sources, carbon neutrality, deep renovation

Carola Clemente, Architect and PhD, is an Associate Professor of Architecture Technology at 'Sapienza' University of Rome (Italy); her research focuses on the management and feasibility control of complex programmes, technological and energy requalification of buildings, and Smart Cities and Communities (SCC). E-mail: carola.clemente@uniroma1.it

Francesco Mancini, Engineer and PhD, is an Associate Professor of Technical Systems at the PDTA Department, 'Sapienza' University of Rome (Italy); his research themes include procedures and methodologies for controlling and improving the energy-environmental quality in construction. E-mail: francesco.mancini@uniroma1.it

Anna Mangiatordi, Architect and PhD, is a Research Fellow and Adjunct Professor at the DiAP Department, 'Sapienza' University of Rome (Italy); her research focuses on smart typological and technological innovation of buildings for vulnerable users, green technologies and nature-based materials. E-mail: anna.mangiatordi@uniroma1.it

Mariangela Zagaria, PhD, at the DiAP Department, 'Sapienza' University of Rome (Italy), conducts research on energy efficiency and sustainable building management, particularly focusing on building monitoring and indoor air quality control to ensure environmental well-being. E-mail: mariangela.zagaria@uniroma1.it



Il raggiungimento della neutralità climatica nelle nostre città¹ (IEA, 2021) rappresenta un tema prioritario per l'Unione Europea in linea con i SDGs (Sustainable Development Goals)² dell'Agenda 2030 (UN, 2015) e con l'Accordo di Parigi³, che sostengono la transizione verso un'economia a basse emissioni di carbonio ed energeticamente sostenibile del settore delle costruzioni, con il duplice obiettivo di triplicare la capacità di energia rinnovabile e raddoppiare i tassi di miglioramento dell'efficienza energetica entro il 2030 (European Commission, 2023).

In Europa il settore edilizio appare ampiamente energivoro, con una produzione elevata di gas climalteranti, responsabile di circa il 40% dei consumi di energia totale e del 36% delle emissioni di GHG – GreenHouse Gases (European Parliament and Council of the European Union, 2023a), con un tasso medio annuo di rinnovamento pari a solo l'1% (European Commission, 2020a). L'incremento dell'efficienza energetica degli edifici e dei sistemi impiantistici rappresenta un passaggio fondamentale per il perseguimento dei target stabiliti dall'European Green Deal (European Commission, 2019), che impongono una riduzione del 55% delle emissioni nette di gas serra rispetto ai livelli del 1990 entro il 2030, rendendo vincolante il perseguimento della neutralità carbonica al 2050 (European Commission, 2020e).

Per raggiungere tali obiettivi, l'Unione Europea dovrebbe aumentare la quota di energie rinnovabili nel consumo finale di energia del 42,5% (European Parliament and Council of the European Union, 2023b), migliorando l'efficienza energetica degli edifici di almeno il 32,5% (European Parliament and Council of the European Union, 2018): ciò si traduce nella necessità di abbassamento delle emissioni di GHG del 60%, del consumo energetico finale del 14% e del consumo per il riscaldamento e per il raffreddamento del 18% (European Commission, 2020d), garantendo un tasso di rinnovamento profondo annuale pari ad almeno il 3% (BPIE, 2021).

Particolare attenzione è rivolta alla ristrutturazione del patrimonio esistente, dando priorità al miglioramento degli immobili della PA (Pubblica Amministrazione) con le peggiori performance energetico-ambientali⁴, tra cui le Scuole (European Commission, 2020c) che assumono un ruolo esemplare su cui far leva per massimizzare il contributo in termini di decarbonizzazione, mediante il rafforzamento dell'uso di FER (Fonti Energetiche Rinnovabili), per ridurre la dipendenza da combustibili fossili, anche puntando alla diffusione su larga scala degli interventi, e per potenziarne gli effetti (European Parliament and Council of the European Union, 2023c).⁵

A scala nazionale il PNIEC (Piano Nazionale Integrato Energia e Clima; MASE, 2023)⁶ incentiva la realizzazione di interventi di riqualificazione profonda e di efficientamento energetico degli edifici scolastici per limitare le emissioni di CO₂ e contrastare il riscaldamento globale. L'edilizia scolastica in Italia rappresenta un patrimonio altamente disperdente, con problematiche di accessibilità, benessere indoor e sicurezza: su un parco di 40.321 edifici scolastici oltre il 74,8% rientra nelle ultime tre classi energetiche E, F e G, con una corposa produzione di emissioni climalteranti, e solo il 10,8% nelle prime tre classi A, B, C; tra questi ultimi il 4,2% è in classe A (Legambiente, 2023).

Nell'ambito di una generale politica di efficientamento energetico e di riqualificazione del patrimonio edilizio pubblico in direzione 'carbon-neutral', l'intervento su un rilevante numero di edifici strategici come le Scuole, spesso in condizioni manutentive obsolete, non del tutto adeguate alle funzioni svolte e solo in esigua parte rispondenti ai requisiti minimi di prestazione energetica, assume quindi un ruolo decisivo.

Il Comune di Roma ha intrapreso un robusto Programma per la riqualificazione del proprio patrimonio edilizio scolastico, con la finalità di accelerare i processi di decarbonizzazione dell'ambiente costruito e di contribuire alle sfide climatiche attraverso interventi di ristrutturazione profonda applicabili su larga scala (Roma Capitale, 2023). Le misure messe in atto dal Gruppo di Ricerca del DiAP dell'Università 'Sapienza' di Roma, congiuntamente con il Dipartimento CSIMU di Roma Capitale nell'ambito del CIS (Contratto Istituzionale di Sviluppo) Roma Scuole Verdi – Efficientamento Energetico e Riqualificazione di Edifici Scolastici⁷, hanno rappresentato un'opportunità eccezionale di trasformazione di una porzione consistente del comparto di edilizia scolastica del Comune di Roma, significativa per caratterizzazione tecnologico-impiantistica, dimensione degli interventi, metodologia operativa adottata e apporto positivo in qualità di ricadute sul bilancio energetico comunale.

L'esperienza di ricerca sperimentale ha avuto come finalità l'avvio di un percorso di riqualificazione profonda e decarbonizzazione su 111 edifici scolastici distribuiti nei 15 Municipi del Comune di Roma. A partire dall'inquadramento del tema trattato nel contesto scientifico – internazionale e nazionale – di riferimento, il presente contributo evidenzia gli aspetti di originalità e di interesse della ricerca sviluppata, anche alla luce delle specificità che caratterizzano la Città di Roma. Segue la descrizione del programma CIS Roma Scuole Verdi e delle fasi di lavoro, illustrando l'approccio sistemico e ad ampia scala adottato in materia di sostenibilità energetico-ambientale, attraverso l'identificazione dei principali indicatori target di miglioramento e controllo prestazionale (KPIs – Key Performance Indicators) monitorati.

Rispetto alle caratteristiche storico / architettoniche e tecnologico-costruttive / impiantistiche peculiari del campione di edifici scolastici considerato è stata specificata la metodologia adottata in termini di criteri di selezione e di comparazione di interventi sul sistema involucro-impianti. L'esplicitazione dei risultati raggiunti con gli interventi di riqualificazione energetico-ambientale proposti mette in luce l'apporto positivo delle soluzioni tecnologico-impiantistiche implementate per efficienza energetica e decarbonizzazione rispetto ai KPIs individuati e in qualità di incidenza sull'ambiente costruito, anche nell'ottica futura della creazione di comunità energetiche che potranno avere come fulcro le Scuole.

La ricerca sperimentale, nel suo carattere di replicabilità, contribuisce al dibattito scientifico sulla rigenerazione urbana, sul raggiungimento della neutralità carbonica e all'intensificazione delle azioni per il clima, introducendo un approccio multi-scalare per la riqualificazione energetico-ambientale che interessa un numero consistente di immobili pubblici, come le Scuole, valutandone le evidenze a scala locale e globale.

L'indotto della ricerca è rivolto sia ai ricercatori che si occupano di tematiche di gestione del processo edilizio e del progetto in chiave energetico-ambientale sia alle strutture di committenza della PA e ai professionisti del settore impegnati nelle attività di progettazione o di controllo tecnico del progetto, anche a supporto della PA, i quali possono trarre vantaggio dalle metodologie sviluppate nella proposta di modelli di processo eco-efficienti e di progetto sostenibili dal punto di vista ambientale su comparti immobiliari simili, nel rispetto della normativa attualmente in vigore in materia di Contratti Pubblici (Decreto Legislativo 31 marzo 2023 n. 36) e GPP (Green Public Procurement; European Commission, 2008).

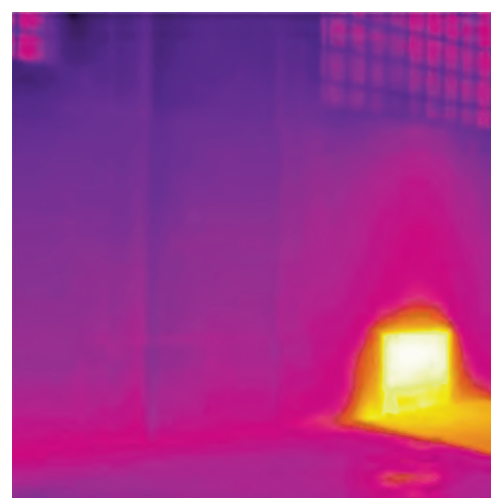
Contesto di riferimento | Negli ultimi decenni la Città di Roma ha visto cambiamenti importanti negli andamenti delle temperature e un aumento delle ondate di calore, quale conseguenza dell'eccessiva produzione di emissioni di GHG e del riscaldamento globale (Spano et alii, 2021). L'implementazione di una Proposta di Strategia di Adattamento Climatico (Roma Capitale, 2024) che contempra la riqualificazione 'pesante' e a larga scala di edifici scolastici può essere utile a ridurre gli impatti e a promuovere nuovi scenari di trasformazione energetico-ambientale.

Nonostante la rispondenza ai CAM edilizia (MITE, 2022b) negli appalti pubblici sia ormai vincolante (Baiani and Altamura, 2019), attraverso approcci eco-orientati nei processi (Clemente, Altamura and Cellurale, 2019) e nei progetti di riqualificazione, la domanda di miglioramento della qualità ambientale degli edifici scolastici risulta ancora in larga parte disattesa (Antonini et alii, 2015).

Spesso le PA non dispongono di dati o studi sufficienti sugli attuali profili energetici degli edifici scolastici o su potenziali scenari di miglioramento ottenibili (Clemente, 2012) riguardo al risparmio energetico e alla riduzione delle emissioni inquinanti. Il più delle volte, la stessa misura di ristrutturazione viene attuata su tutte le tipologie di edifici, senza valutarne la suscettività architettonica o impiantistica (Romano et alii, 2023) rispetto alla necessità di riduzione del fabbisogno energetico mediante l'efficientamento dell'involucro o alle esigenze di rinnovo degli impianti di riscaldamento e di raffrescamento (Liébana-Durán, Serrano-Lanzarote and Ortega-Madrugal, 2021). All'installazione degli impianti da FER non sempre corrispondono interventi di riqualificazione integrale degli edifici, vanificandone in larga misura i benefici potenziali anche nell'ottica di ammortizzare i costi di investimento (Romano, Lalloa and Mancini, 2021).

Rispetto alle numerose ricerche volte a sistematizzare le misure da adottare per la riqualificazione energetico-ambientale negli edifici scolastici – si citano a titolo esemplificativo i progetti europei TABULA (2012) e Sherpa Interreg-MED (Interreg Mediterranean, 2018) – il presente studio propone una metodologia operativa sistemica e multi-scalare che consente di affrontare in modo integrato gli aspetti di riduzione della domanda energetica unitamente alla necessità di abbassamento delle emissioni di CO₂, valutandone gli impatti sul singolo edificio e a scala urbana.

Nel caso di Roma l'edilizia scolastica rappresenta la tipologia edilizia pubblica più densa e capillarmente distribuita all'interno della città (Figg. 1, 2), con scarse prestazioni energetico-ambientali



(Figg. 3-6). Migliorare l'efficienza energetica degli edifici scolastici significa, pertanto, non solo tagliare la spesa pubblica comunale, ma anche aumentare di gran lunga la qualità ambientale, riducendo al contempo la quantità di emissioni di carbonio prodotte (Legambiente, 2021). Sebbene le strategie implementabili per la riqualificazione possano essere applicate a immobili singoli, affrontare le questioni energetico-ambientali a scala municipale o urbana consentirebbe di ottenere risultati più efficaci e di garantire un decisivo incremento dei tassi di rinnovamento, accelerando i processi di decarbonizzazione dell'ambiente costruito.

Questo approccio transcalare richiede una consapevolezza culturale, prima che tecnica o economica, necessaria a supportare lo sviluppo di progetti complessi secondo una visione olistica, che incontra spesso la resistenza delle strutture di committenza delle PA, dei progettisti e dei tecnici ad affrontare programmi e progetti in modo integrato, attraverso proposte di intervento sugli edifici che consentano una valutazione tangibile delle incidenze sui casi singoli e, in modo sistemico, sulla più ampia rete infrastrutturale e patrimoniale della città. La scarsità di dati tecnici disponibili da parte delle PA sugli edifici pubblici può, inoltre, limitare l'implementazione e la diffusione di questi approcci, con ricadute pesantemente negative sui consumi energetici, sull'impronta ambientale e sul peso effettivo in termini di bilancio finanziario delle città.

Il CIS Roma Scuole Verdi | Oltre a rappresentare un grande investimento economico⁸, il CIS Roma

Scuole Verdi costituisce una tappa importante nel percorso di decarbonizzazione intrapreso da Roma Capitale con il PAESC (Piano di Azione per l'Energia Sostenibile e il Clima)⁹, in aderenza alle linee guida definite dal network mondiale C40 Cities (Climate Leadership Group)¹⁰ e dal programma 100 Carbon-Neutral and Smart Cities by 2030 con cui l'Unione Europea intende agevolare lo sviluppo di progetti intersettoriali tesi alla realizzazione di città intelligenti, sostenibili e a basse emissioni di carbonio (European Commission, 2020b).

L'obiettivo del CIS è la promozione di progetti e di interventi di riqualificazione energetico-ambientale su 212 edifici scolastici – tra Scuole dell'infanzia, primarie e secondarie di primo grado – distribuiti tra i 15 Municipi dell'intero territorio comunale (Fig. 7). Il programma è suddiviso in due fasi, in base alle priorità degli edifici scolastici, alle esigenze di intervento e alle risorse finanziarie disponibili (Fig. 8).

Il Gruppo di Ricerca DiAP è stato coinvolto nella prima fase che ha interessato 111 edifici scolastici e ha supportato l'ufficio CSIMU: a) nella redazione dei DIP (Documenti di Indirizzo alla Progettazione), elaborando le informazioni tecniche di base sugli edifici e individuando le linee di indirizzo e le categorie di intervento necessarie, entro importi economici definiti; b) nella verifica e controllo tecnico-prestazionale della qualità energetico-ambientale delle soluzioni tecnologico-impiantistiche proposte nei PFTE (Progetti di Fattibilità Tecnico-Economica) elaborati dai team di progettisti, uno per ciascun Municipio, selezionati

attraverso una procedura di affidamento pubblico.

L'adesione ai principi del GPP ha costituito un campo di prova ambizioso per la verifica e la validazione di modelli operativi in grado di orientare l'attuazione di progetti coerenti e congruenti non solo dal punto di vista tecnico-economico, ma anche della sostenibilità ambientale, dando conto della gestione eco-efficiente delle risorse, attraverso l'istituzione e il monitoraggio di KPIs controllabili e misurabili (Tabella 1).

Tale operazione di valutazione energetico-ambientale, avvenuta con un approccio sistemico e multi-scalare, ha avuto come finalità l'individuazione delle migliori azioni da intraprendere per la diminuzione del fabbisogno energetico e delle emissioni di CO₂, conformemente alla normativa tecnica vigente, entro il perimetro finanziario definito dal CIS, in riferimento ai singoli edifici scolastici e all'insieme degli immobili all'interno dello specifico Municipio e nel rispetto dei seguenti KPIs: a) il miglioramento della prestazione energetica globale del sistema edificio / impianto di almeno una classe energetica rispetto a quella di partenza; b) la riduzione delle emissioni di CO₂ pari all'abbattimento di almeno il 20% del valore precedente la riqualificazione.

In fase di definizione del CIS e di elaborazione dei DIP, gli indicatori a) e b) sono stati fissati, in modo prudente, al minimo della soglia perseguibile, in considerazione della discontinua conoscenza dello stato attuale di efficienza e del profilo prestazionale energetico-ambientale del patrimonio scolastico, quale condizione diffusa in alcuni dei Municipi di

Previous page

Fig. 1, 2 | Istituto Comprensivo Claudio Abbado – Primary School ‘Ermenegildo Pistelli’ in Rome (credits: A. Mangiatordi, 2024).

Fig. 3-6 | Example of thermography and energy-environmental performance related to the ‘Ermenegildo Pistelli’ school building (source: Legambiente, 2021).

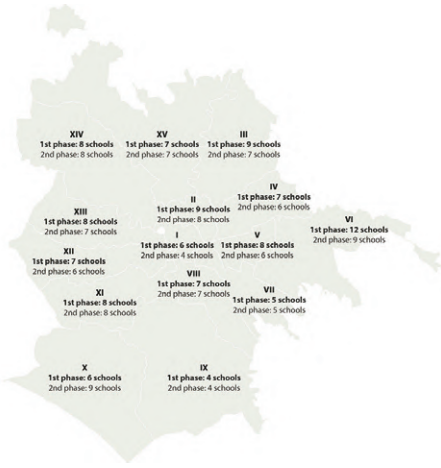
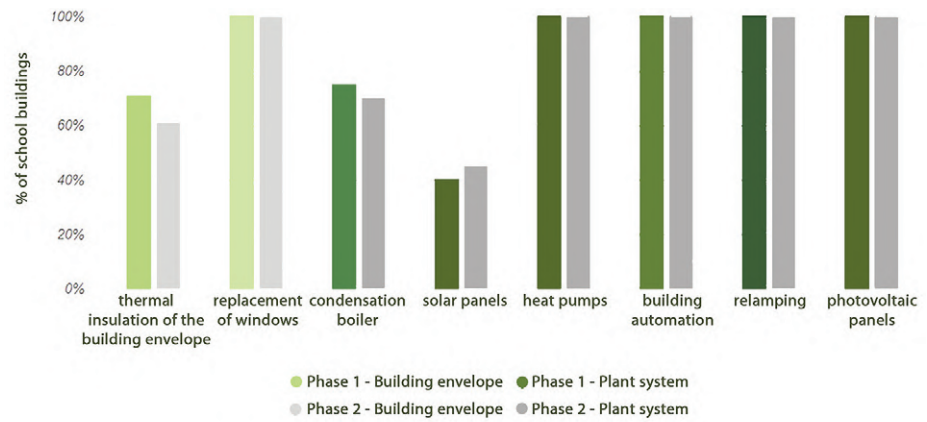


Fig. 7 | Distribution of school buildings in the Municipalities of the Roma Capitale territory (credit: CIS Roma Scuole Verdi – First and Second Phase, adapted by the Authors, 2024).

Fig. 8 | CIS planned interventions on the envelope/ plumbing system and available financial resources (credit: CIS Roma Scuole Verdi – First and Second Phase, adapted by the Authors, 2024).

Tab. 1 | Synoptic overview of KPIs, units of measurement and calculation methods (credits: CIS Roma Scuole Verdi – First phase, adapted by the Authors, 2024).

Roma Capitale. La valutazione delle prestazioni raggiunte con gli interventi proposti nei PFTE è avvenuta verificando, inoltre, l’apporto aggiuntivo delle FER, a fronte di una riduzione del fabbisogno energetico globale, mediante il controllo di ulteriori KPIs: c) il fabbisogno di energia primaria totale; d) il fabbisogno di energia primaria non rinnovabile; e) il fabbisogno di energia primaria rinnovabile; f) la quota di produzione di energia rinnovabile.¹¹

Gli indicatori a) e b) sono risultati di immediata significatività rispetto al livello di efficienza energetica raggiunta e all’incidenza in termini di decarbonizzazione sull’ambiente costruito. A valle dei PFTE le soglie minime di miglioramento della classe energetica e di abbattimento delle emissioni di CO₂ sono state soddisfatte e ampiamente superate in tutti gli immobili oggetto di riqualificazione. Riguardo agli indicatori c), d), e) ed f) il fabbisogno energetico complessivo degli edifici è stato di gran lunga ridotto, a fronte di un consumo di risorse energetiche ampiamente coperto da FER. Il controllo sistemico di tutti i KPIs ha, quindi, consentito di effettuare una valutazione esaustiva sulle ricadute complessive degli interventi sugli immobili singoli e in termini di bilancio energetico-ambientale globale della città.

Materiali e metodi | Nel territorio del Comune di Roma ricadono 1.394 edifici destinati a uso scolastico, di cui 1.296 di proprietà comunale e 104 di proprietà provinciale; il CIS Roma Scuole Verdi ha individuato 212 edifici da riqualificare, pari al 16,4% del patrimonio scolastico comunale; di



KPI	Definition	Unit of measurement	Calculation method
a)	Improvement of the energy performance of the building/plant system by at least one energy rating by the value prior to the requalification	_____	Italian DM 26 Giugno 2015
b)	Reduction of produced CO ₂ equal to 20% of the value prior to the requalification	[kg/m ² year]	UNI TS 11300:1-4
c)	Reduction of global primary energy demand	[kWh/m ² year]	Italian DM 26 Giugno 2015
d)	Reduction of non-renewable primary energy demand	[kWh/m ² year]	UNI TS 11300:1-4
e)	Increase of renewable primary energy demand	[kWh/m ² year]	Italian DM 26 Giugno 2015
f)	Increase of production of renewable primary energy demand	[kWh/m ² year]	UNI TS 11300:1-4



questi, 111 immobili sono stati oggetto della prima fase del CIS, costituendo quindi un campione rilevante per epoca di costruzione, consistenza tipologico-architettonica e caratterizzazione tecnologico-impiantistica. Le Figure da 9 a 11 mostrano la distribuzione degli edifici scolastici in base al periodo di costruzione e al volume lordo riscaldato, affiancando a una analisi di carattere storico-culturale, tecnologico-costruttiva¹² e dimensionale la lettura dell'evoluzione legislativa in materia di efficienza energetica.¹³

Dai dati emerge che il 35,1% degli edifici a uso scolastico è antecedente al 1976, anno di introduzione della prima legge italiana sul risparmio energetico (Legge 30 Marzo 1976 n. 373 – Norme per il contenimento del consumo energetico per usi termici negli edifici), mentre il 61,3% è stato realizzato tra il 1976 e il 1991, anno in cui, attraverso la Legge 9 Gennaio 1991 n. 10 (Norme per l'attuazione del Piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia), vengono regolate le modalità progettuali, di installazione e di esercizio dei sistemi di impianto e aggiornate le modalità di calcolo per il fabbisogno energetico. Tali dati mettono in risalto come larga parte del parco immobiliare scolastico romano analizzato sia ampiamente inefficiente dal punto di vista energetico-ambientale, salvo interventi di manutenzione successivi.

La suddivisione degli edifici scolastici per fasi storiche e cicli temporali ha consentito una tipizzazione degli immobili oggetto di riqualificazione per gruppi omogenei e con problematiche analoghe, sia in rapporto al contesto urbano e all'organizzazione tipologica sia per caratterizzazione tecnologico-impiantistica ed energetico-ambientale, rispetto ai quali è stato possibile ipotizzare tipologie di intervento comuni, entro una checklist di strategie di intervento definita dalla governance di processo e di progetto sin dalla fase di programmazione del CIS.

L'involucro opaco di questi edifici è caratterizzato, in linea generale, da pareti fortemente dispendenti – in muratura, isolata nell'intercapedine o a cortina – e da coperture che presentano gravi problemi di infiltrazioni, o necessitano di zavorramento per essere adeguati all'integrazione con le dotazioni impiantistiche occorrenti (pannelli fotovoltaici, UTA, ecc.), mentre i sistemi di infisso e di oscuramento non rispondono alle prestazioni termo-acustiche richieste dalla normativa attualmente in vigore¹⁴. Il fabbisogno energetico termico è principalmente soddisfatto da caldaie a metano o a gasolio. La condizione dei terminali di impianto elettrico e termico dipende dalla frequenza degli interventi di manutenzione effettuati nel tempo. Laddove sono presenti impianti fotovoltaici o pannelli solari, questi sistemi risultano spesso non funzionanti e necessitano di essere compensati o sostituiti integralmente.

Allo stato attuale, solo l'1,8% degli edifici si colloca nella classe energetica C, mentre tutti gli altri appartengono a livelli di prestazione inferiori, nello specifico alle classi D (13,5%), E (38,8%), F (34,2%) e G (11,7%), con una produzione attuale di emissioni di CO₂ globale pari a 5.287,3 kg/mc annui.

Una fase fondamentale della ricerca sperimentale ha riguardato la valutazione dello stato di fatto e la calibratura degli interventi in relazione alla suscettività architettonica e impiantistica degli immobili interessati. Il rilievo da parte dei progettisti e la Diagnosi Energetica hanno consentito di verificarne la consistenza tecnologico-impiantistica effettiva, rispetto ai dati energetico-ambientali inizialmente forniti dalla PA contestualmente alla redazione dei DIP.

L'aggiornamento degli APE (Attestati di Prestazione Energetica) ha migliorato la trasparenza in qualità di efficienza dell'intero parco immobiliare: gli attestati hanno fornito informazioni sulle ca-

ratteristiche tecniche degli edifici e dei sistemi impiantistici, sulle prestazioni energetiche residue e sugli interventi previsti sul sistema involucro / impianti per garantire il miglioramento, restituendo dati di input / output in merito alla classe energetica e alle emissioni inquinanti, ai consumi e ai fabbisogni di energia primaria (totale, rinnovabile e non rinnovabile) e alla quota di produzione da FER risultante.

In una logica di efficientamento energetico ad ampia scala questi dati (resi disponibili e simulati) sono risultati essenziali per individuare gli immobili con le prestazioni peggiori che hanno urgente bisogno di riqualificazione e per valutare i miglioramenti ottenibili in funzione degli investimenti (confrontando la situazione ante e post), contribuendo a definire le priorità di intervento e a garantire un elevato livello di qualità energetico-ambientale dei singoli edifici, rispetto all'intero patrimonio immobiliare pubblico della città.

Contestualmente alla fase di redazione dei PFTE sono stati valutati, da parte del Gruppo di Ricerca, i benefici potenziali determinati dagli interventi di riqualificazione proposti sui singoli immobili e sui Municipi, indirizzando eventualmente i progettisti verso opportune ottimizzazioni.

Risultati | Il grafico in Figura 12 mostra come gli interventi di isolamento termico dell'involucro opaco siano stati applicati nell'84,7% dei casi sulle coperture anche al fine di mitigarne il surriscaldamento in condizione estiva, nel 19,8% sui solai controterra e nel 70,3% sulle pareti perimetrali verticali. In tutte le Scuole è stata prevista la sostituzione degli infissi esterni verticali comprensivi dei relativi sistemi di oscuramento, per consentire l'adeguamento alle norme termo-acustiche vigenti.

La limitazione dell'estensione generalizzata delle misure di retrofit sull'involucro opaco è dovuta a volte alla presenza di superfici poco disper-

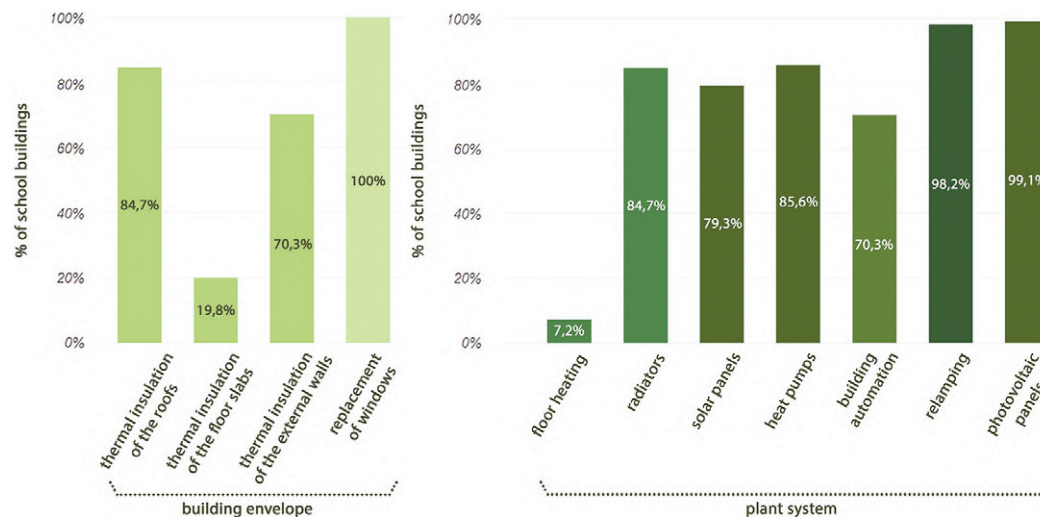
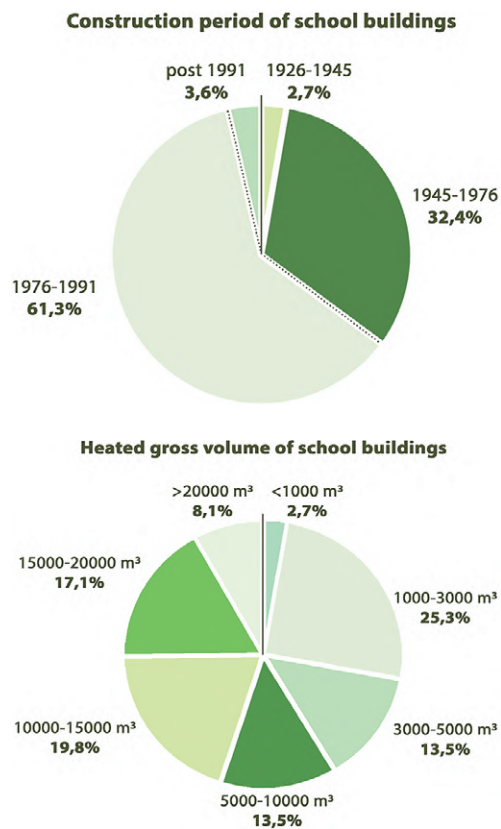


Fig. 9 | Characterisation of the school building stock by era of construction and prevailing building system (credit: CIS Roma Scuole Verdi – First Phase, adapted by the Authors, 2024).

Fig. 10 | Distribution of school buildings in relation to the construction period and legislative evolution in energy conservation (credit: CIS Roma Scuole Verdi – First Phase, adapted by the Authors, 2024).

Fig. 11 | Distribution of school buildings by gross heated volume (credit: CIS Roma Scuole Verdi – First phase, adapted by the Authors, 2024).

Fig. 12 | Interventions on the opaque and transparent envelope proposed in the Technical-Economic Feasibility Projects (credit: CIS Roma Scuole Verdi – First phase, adapted by the Authors, 2024).

Fig. 13 | Interventions on the proposed facilities in the Technical-Economic Feasibility Projects (credit: CIS Roma Scuole Verdi – First phase, adapted by the Authors, 2024).

denti e con valori di trasmittanza termica accettabili, altre volte a caratteristiche architettoniche di pregio di immobili soggetti a vincoli di carattere storico-culturale, ovvero a difficoltà tecniche di esecuzione (come nel caso di isolamento dall'interno per lo più nelle pareti in muratura portante o per insufflaggio delle pareti a cortina) nonché al recente svolgimento di lavori di manutenzione.

Le azioni previste per gli impianti (Fig. 13) hanno interessato nel 91,9% dei casi il rifacimento dei sistemi di riscaldamento con la sostituzione del generatore di calore e dei terminali; in particolare la tipologia a radiatori è stata adottata per l'84,7%, mentre per il restante 7,2% delle Scuole, tra Asili nido e Scuole dell'infanzia, sono stati previsti sistemi di riscaldamento radiante a pavimento, intervenendo parallelamente sulla coibentazione dei solai contro-terra. Risulta noto infatti che i bambini più piccoli trascorrono molto tempo giocando a contatto con il pavimento e i pannelli radianti possono rappresentare la migliore soluzione per garantire la mancanza di ingombri potenzialmente pericolosi, la silenziosità e, soprattutto, una temperatura superficiale confortevole data l'assenza di correnti d'aria.

L'inserimento di un sistema di produzione di energia termica da impianto solare o la messa in funzione di collettori, già installati ma inattivi, è stato previsto per il 79,3% degli edifici, salvo la presenza di incompatibilità di carattere paesaggistico-ambientale; nell'85,6% degli immobili è stata proposta l'installazione di pompe di calore.

Per quanto riguarda la produzione di energia elettrica, nella quasi totalità degli edifici (99,1%) è stata prevista la predisposizione di un impianto fotovoltaico. L'energia elettrica implementata con i sistemi di autoproduzione sarà utilizzata per la messa in funzione delle apparecchiature tecnologiche, per il sistema di illuminazione (che nel 98,2% dei casi sarà efficientato con la sostituzione dei

corpi illuminanti a tecnologia LED) e per l'alimentazione dei sistemi di Building Automation, ipotizzati nel 70,3% delle Scuole.

In tutti gli edifici scolastici oggetto di riqualificazione si verifica una riduzione dei consumi di energia termica ed elettrica. La Figura 14 mostra il risparmio di energia primaria rispetto alla situazione attuale, evidenziando una significativa diminuzione del fabbisogno di energia totale del 46,2% (KPI c). I grafici successivi considerano la variazione del fabbisogno energetico globale in fase ante e post-operam, distinta nelle due componenti di fabbisogno di energia primaria non rinnovabile (Fig. 15) e rinnovabile (Fig. 16): nel primo diagramma risulta evidente una importante riduzione della richiesta di energia non rinnovabile, pari al 56,0% (KPI d), coincidente con una minore domanda di alimentazione di energia termica ed elettrica da rete; al contrario, nella seconda figura, si rileva un incremento del 117,4% della richiesta di energia primaria rinnovabile (KPI e), corrispondente all'uso di impianti e apparecchiature alimentati da FER, rispetto alla situazione attuale.

La Figura 17 pone in relazione la richiesta di fabbisogno globale di energia primaria con l'epoca di costruzione, mettendo in luce l'incidenza della suscettività tecnologico-impiantistica degli edifici sulle prestazioni energetiche globali. Nella condizione ante-operam si evidenzia un lieve aumento del fabbisogno di energia nel corso degli anni, ossia nel passaggio dagli edifici realizzati in muratura portante a quelli con strutture a telaio. Nella condizione post-operam invece il fabbisogno diminuisce nella fase successiva agli interventi di efficientamento energetico: tale riduzione risulta maggiore negli edifici più antichi, evidenziando come gli interventi di efficientamento proposti abbiano una maggiore efficacia sugli edifici storici. La Figura 18 mette in relazione il fabbisogno globale di energia primaria con il volume lordo

riscaldato: si osserva, sia nella condizione ante che post-operam, una diminuzione del fabbisogno di energia all'aumentare del volume lordo riscaldato, con un valore medio pari al 44,0%; in particolare, per gli edifici di maggiori dimensioni, si rileva una riduzione importante della richiesta di energia.

Complessivamente si ottiene un aumento della quota di produzione di energia rinnovabile nella fase post-operam del 20,5% (KPI f; Fig. 19); l'impiego di sistemi di impianto alimentati da FER consente, pertanto, un progresso significativo verso la elettrificazione e la decarbonizzazione degli edifici scolastici.

In conclusione, nella fase post-intervento, si ha un incremento medio di classe energetica di 4,2 posizioni (Fig. 20), ben al di sopra del salto di una sola classe richiesta dal CIS (KPI a) con una frequenza di edifici in classe A4 (19,8%), A3 (4,5%), A2 (11,7%), A1 (9,9%), B (21,6%), C (18,0%), D (7,2%), E (4,6%) e F (2,7%). Analogamente la riduzione delle emissioni di CO₂ risulta molto maggiore rispetto alla soglia minima del 20%, passando infatti a un valore di produzione totale di emissioni di CO₂ pari a 2.506,7 kg/mc annui, con un abbassamento medio del 52,6% (KPI b; Fig. 21).

Il valore finale globale dei risultati ottenuti, sintetizzato nei KPIs a), b) e c), d), e) ed f) per singoli edifici, Municipi e intero territorio comunale, risulta rilevante nell'ambito di una programmazione e pianificazione complessiva di azioni da attuare su larga scala, mediante l'utilizzo o la combinazione di tecnologie e la sperimentazione di soluzioni impiantistiche, che presentano un potenziale di replicabilità.

Conclusioni e sviluppi futuri | Gli interventi proposti con il CIS Roma Scuole Verdi garantiscono il raggiungimento di un elevato livello di qualità energetico-ambientale, con potenziali ricadute sulle

condizioni d'uso e gestione degli edifici attraverso una notevole riduzione dei fabbisogni energetici (in larga parte assorbita da FER) e con contributi importanti in termini di decarbonizzazione dell'ambiente costruito. Tale risultato assume una connotazione significativa laddove si considera l'impatto che le strategie e le soluzioni progettuali ipotizzate hanno non tanto sul singolo edificio, quanto sugli immobili nel loro complesso, risultando strategici nell'ottica di una programmazione e pianificazione a larga scala degli interventi.

L'avvio di un generale processo di riqualificazione energetica che interessa una quantità consistente di edifici scolastici di proprietà comunale costituisce una opportunità per conseguire obiettivi primari, quali l'aumento della classe energetica e la riduzione delle emissioni climalteranti, ma anche per garantire l'efficiamento dell'involucro e la completa messa a norma degli impianti termici ed elettrici, nonché l'istituzione di procedure di manutenzione e di adeguamento impiantistico da attuare in modo programmato e preventivo che consentano di ridurre lo stato di obsolescenza attuale e di abbassare i consumi, sfruttando l'apporto positivo delle FER.

Il quadro relativo alle tipologie e all'intensità di intervento e ai KPIs predisposto fornisce, in questa direzione, parametri utili per le PA che si occupano di guidare il processo decisionale e di controllare la progettazione e realizzazione di programmi di riqualificazione energetica su edifici scolastici simili.

La metodologia implementata rappresenta la base per la costruzione di una roadmap di misure per la riqualificazione profonda di edifici scolastici in direzione 'carbon-neutral' da adottare a scala urbana, rispetto ad aspetti di maggiore significatività, quale l'epoca di costruzione, la consistenza edilizia, la tecnologia costruttiva e le dotazioni impiantistiche presenti, restituendo un quadro di sintesi dei dati di input / output rilevanti in termini di fabbisogno di energia primaria totale, rinnovabile e non rinnovabile, quota dei consumi associati all'uso di fonti rinnovabili, livello di classe energetica raggiunto e riduzione di emissioni di CO₂, ottenuti attraverso interventi specifici.

Le sinergie tra le diverse strategie progettuali e gli interventi ipotizzati risultano evidenti quando si passa dalla scala edilizia a quella urbana, determinando efficienze di sistema che puntano il più possibile alla sostituzione dei combustibili fossili, all'elettrificazione e al decisivo incremento nell'utilizzo di FER, consentendo di intraprendere un percorso di decarbonizzazione che abbia importanti ricadute sull'intero parco immobiliare pubblico della città. Sulla base dell'esperienza maturata e dei dati ottenuti la stessa PA di Roma Capitale potrà procedere in modo spedito alla realizzazione di un cospicuo piano di rinnovamento energetico che riguarda altri edifici scolastici, in coerenza con il CIS, con i progetti PNRR in corso di attuazione e con le linee guida del PAESC, che già prevede, in prima istanza, l'installazione di impianti fotovoltaici sulle coperture di 15 Scuole (una per ciascun Municipio) per attivare le prime comunità energetiche in grado di sostenere il fabbisogno energetico di interi comparti urbani.

the Sustainable Development Goals (SDGs)² of the 2030 Agenda (UN, 2015) and the Paris Agreement³, which support the transition to a low-carbon, energy-sustainable economy for the construction sector, with the twin goals of tripling renewable energy capacity and doubling energy efficiency improvement rates by 2030 (European Commission, 2023).

In Europe, the building sector appears to be largely energy-intensive, producing high levels of climate-changing gases, responsible for about 40% of total energy consumption and 36% of GHG – Green House Gases emissions (European Parliament and Council of the European Union, 2023a), with an average annual renovation rate of only 1% (European Commission, 2020a). Increasing the energy efficiency of buildings and plant systems is a key step in the pursuit of the targets set by the European Green Deal (European Commission, 2019), which impose a 55% reduction in net GHG emissions compared to 1990 levels by 2030, making the pursuit of carbon neutrality to 2050 binding (European Commission, 2020e).

To achieve these goals, the European Union should increase the share of renewable energy in final energy consumption by 42.5% (European Parliament and Council of the European Union, 2023b), improving the energy efficiency of buildings by at least 32.5% (European Parliament and Council of the European Union, 2018): this translates into the need to lower GHG emissions by 60%, final energy consumption by 14%, and heating and cooling consumption by 18% (European Commission, 2020d), ensuring an annual deep renovation rate of at least 3% (BPIE, 2021).

Particular attention is paid to the renovation of existing assets, prioritising the improvement of PA (Public Administration) buildings with the worst energy-environmental performance⁴, including Schools (European Commission, 2020c), which take on an exemplary role to leverage to maximise their contribution in terms of decarbonisation, through strengthening the use of RES (Renewable Energy Sources), to reduce dependence on fossil fuels, including by targeting large-scale deployment of interventions, and to enhance their effects (European Parliament and Council of the European Union, 2023c).⁵

On a national scale, the PNIEC (National Integrated Energy and Climate Plan; MASE, 2023)⁶ incentivises the implementation of deep retrofit and energy efficiency interventions in school buildings to help limit CO₂ emissions and combat global warming. School buildings in Italy represent a highly dispersive heritage, with problems of accessibility, indoor well-being and safety: out of a stock of 40,321 school buildings, more than 74.8% fall into the last three energy classes E, F, and G, with a substantial production of greenhouse gas emissions; only 10.8% fall into the first three classes A, B, and C, of which 4.2% are class A buildings (Legambiente, 2023).

As part of a general policy of energy efficiency and redevelopment of the public building stock in a 'carbon-neutral' direction, intervention in a significant number of strategic buildings, such as Schools, which are often in an obsolete maintenance condition, not fully adequate for the functions performed and only in a small part meeting minimum energy performance requirement, therefore assumes a decisive role.

The Municipality of Rome has embarked on a robust Programme for redeveloping its school building stock, aiming to accelerate the decarbonisation of the built environment and contribute to climate challenges through deep renovation interventions applicable on a large scale (Roma Capitale, 2023). The measures put in place by the DiAP Research Group of the 'Sapienza' University of Rome, jointly with the CSIMU Department of Roma Capitale within the framework of the CIS (Institutional Development Contract) 'Roma Scuole Verdi – Efficiamento Energetico e Riqualificazione di Edifici Scolastici'⁷, have represented an exceptional opportunity for the transformation of a substantial portion of the school building sector of the Municipality of Rome, significant in terms of technological-plant characterisation, the size of the interventions, the operational methodology adopted and the positive contribution in terms of impact on the municipal energy balance.

The experimental research experience aimed to start a deep redevelopment and decarbonisation path on 111 school buildings distributed in the 15 Municipalities of Rome. Starting from the framing of the topic treated in the scientific context – international and national – of reference, this contribution highlights the originality and interest of the research developed, also in light of the specificities that characterise the City of Rome. This is followed by a description of the CIS Roma Scuole Verdi programme and the phases of work, illustrating the systemic and large-scale approach adopted in the field of energy-environmental sustainability through the identification of the Key Performance Indicators (KPIs) monitored for improvement and performance control.

Concerning the historical / architectural and technological-constructive/plant characteristics peculiar to the sample of school buildings considered, the methodology adopted was specified in terms of selection criteria and comparison of interventions on the envelope-plant system. The explication of the results achieved with the proposed energy-environmental upgrading interventions highlights the positive contribution of the technological plant solutions implemented for energy efficiency and decarbonisation with respect to the identified KPIs and in terms of their impact on the built environment, also with a view to the future creation of energy communities that may have Schools as their focus.

The experimental research, in its replicable nature, contributes to the scientific debate on urban regeneration, the achievement of carbon neutrality, and the intensification of climate action by introducing a multi-scalar approach to energy-environmental redevelopment that affects a substantial number of public buildings, such as Schools, evaluating the evidence at local and global scales.

The research inductee is aimed both at researchers dealing with building process and project management issues from an energy-environmental perspective and at PA commissioning structures and professionals in the sector engaged in design or technical project control activities, including in support of the PA, who can benefit from the methodologies developed in proposing eco-efficient process and environmentally sustainable project models on similar real estate compartments, in compliance with the regulations currently in force on Public Procurement Code (Decreto Legislativo

Achieving climate neutrality in our cities¹ (IEA, 2021) is a priority issue for the European Union in line with

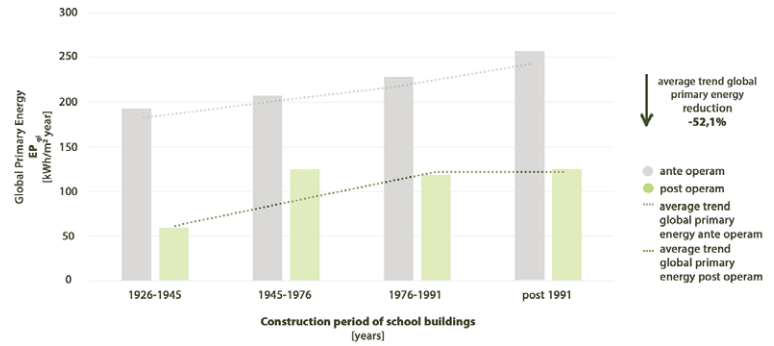
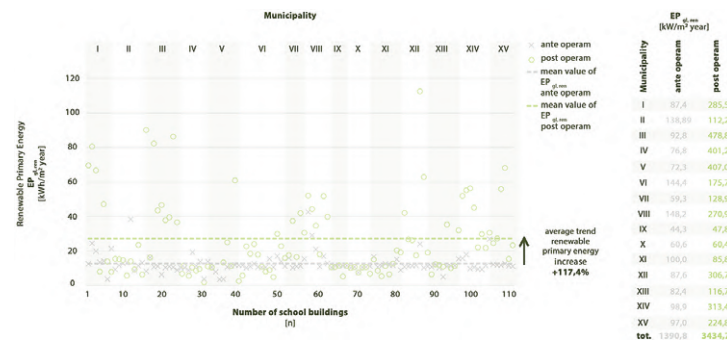
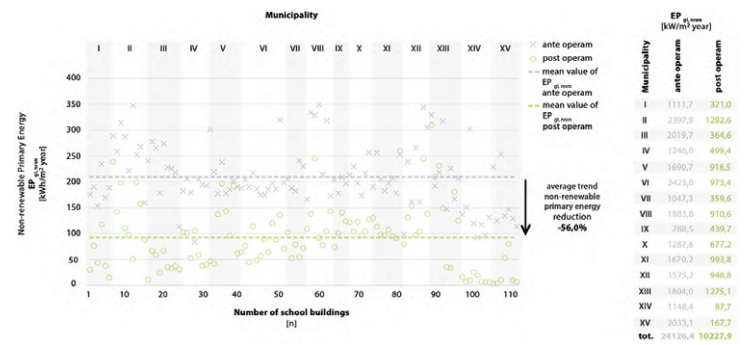
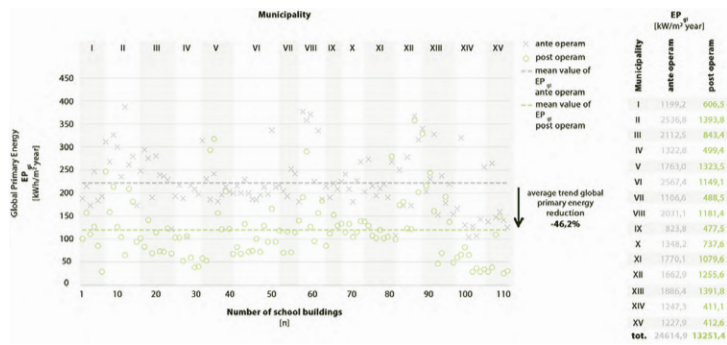


Fig. 14 | KPI c): Reduction in total primary energy requirements of the school building sector (credit: CIS Roma Scuole Verdi – First phase, adapted by the Authors, 2024).

Fig. 15 | KPI d): Reduction of non-renewable primary energy requirements of school buildings (credit: CIS Roma Scuole Verdi – First phase, adapted by the Authors, 2024).

Fig. 16 | KPI e): Increased renewable primary energy requirements of school buildings (credit: CIS Roma Scuole Verdi – First phase, adapted by the Authors, 2024).

Fig. 17 | Global unit primary energy requirements by era of school building construction (credit: CIS Roma Scuole Verdi – First phase, adapted by the Authors, 2024).

31 marzo 2023 n. 36) and GPP (Green Public Procurement; European Commission, 2008).

Reference context | In recent decades, the Municipality of Rome has seen significant changes in temperature trends and increased heat waves due to excessive GHG emissions and global warming (Spano et alii, 2021). Implementing a Proposed Climate Adaptation Strategy (Roma Capitale, 2024) that contemplates ‘heavy’ and large-scale redevelopment of school buildings can help reduce their impacts and promote new energy-environmental transformation scenarios.

Even though compliance with building CAM (MITE, 2022b) in Public Procurement is now mandatory (Baiani and Altamura, 2019), through eco-oriented approaches in processes (Clemente, Altamura and Cellurale, 2019) and refurbishment projects, the demand for improving the environmental quality of school buildings is still largely unmet (Antonini et alii, 2015).

PAs often need more data or studies on the current energy profiles of school buildings or potential achievable improvement scenarios (Clemente, 2012) regarding energy savings and pollutant emission reduction. More often than not, the same renovation measure is implemented on all types of buildings without assessing their architectural or plant susceptibility (Romano et alii, 2023) with respect to the need to reduce energy demand through envelope efficiency or the renovation needs of heating and cooling systems (Liébana-Durán, Serrano-Lanzarote and Ortega-Madrugal, 2021). The installation of systems from RES is not always matched by full building upgrades, largely nullifying their potential benefits even to amortise investment costs (Romano, Lalloa and Mancini, 2021).

Compared to the numerous researches aimed

at systematising the measures to be taken for energy-environmental upgrading in school buildings – the European projects TABULA (2012) and Sherpa Interreg-MED (Interreg Mediterranean, 2018) are mentioned as examples – the present study proposes a systemic and multi-scalar operational methodology that allows to address in an integrated way the aspects of energy demand reduction together with the need to lower CO₂ emissions, assessing their impacts on the individual building and at the urban scale.

In the case of Rome, school buildings represent the densest and most widely distributed public building type within the city (Fig. 1, 2), with poor energy-environmental performance (Fig. 3-6). Improving the energy efficiency of school buildings means not only cutting municipal public spending, but also significantly increasing environmental quality while confining the amount of carbon emissions produced (Legambiente, 2021). Although implementable strategies for redevelopment can be applied to individual properties, addressing energy-environmental issues at the municipal or urban scale would achieve more effective results and ensure a decisive increase in renewal rates, accelerating the processes of decarbonisation of the built environment.

However, this transcalar approach requires a cultural awareness before a technical or economic one, necessary to support the development of complex projects according to a holistic view, which is often met with resistance from PA commissioning structures, planners and engineers to approach programmes and projects in an integrated way, through proposals for interventions on buildings that allow a tangible assessment of the impacts on individual cases and, in a systemic way, on the city’s broader infrastructure and heritage

network. The need for more technical data available from PAs on public buildings may limit the implementation and dissemination of these approaches, with heavy negative impacts on energy consumption, environmental footprint, and actual weight in terms of cities’ financial budgets.

The CIS Roma Scuole Verdi | In addition to representing a significant economic investment⁸, the CIS Roma Scuole Verdi constitutes an essential step in the decarbonisation path undertaken by Roma Capitale with the PAESC (Sustainable Energy and Climate Action Plan)⁹, in adherence to the guidelines set out by the global network C40 Cities (Climate Leadership Group)¹⁰ and the 100 Carbon-Neutral and Smart Cities by 2030 programme with which the European Union intends to facilitate the development of cross-sectoral projects aimed at achieving smart, sustainable and low-carbon cities (European Commission, 2020b).

The CIS’ objective is to promote energy-environmental upgrading projects and interventions on 212 school buildings – including Preschools, and primary and secondary schools – distributed among the 15 municipalities throughout the City of Rome (Fig. 7). The programme is divided into two phases, based on school building priorities, intervention needs and available financial resources (Fig. 8).

The DiAP Research Group was involved in the first phase involving 111 school buildings and supported the CSIMU office: a) in the drafting of the Technical Project Briefs, processing the essential technical information on the buildings and identifying the necessary guidelines and categories of intervention, within defined economic amounts; b) in the technical-performance verification and control of the energy-environmental quality of the techno-

logical-plant solutions proposed in the Technical-Economic Feasibility Projects prepared by the design teams, one for each municipality, selected through a public contracting procedure.

Adherence to the principles of GPP has been an ambitious testing ground for the verification and validation of operational models capable of guiding the implementation of coherent and congruent projects not only from a techno-economic point of view but also in terms of environmental sustainability, accounting for eco-efficient resource management through the establishment and monitoring of controllable and measurable KPIs (Table 1).

This energy-environmental assessment operation, which took place with a systemic and multi-scalar approach, was aimed at identifying the best actions to be taken to decrease energy needs and CO₂ emissions in accordance with the technical regulations in force, within the financial perimeter defined by the CIS, with reference to individual school buildings and the set of buildings within the specific Municipality and in compliance with the following KPIs: a) the improvement of the overall energy performance of the building/installation system by at least one energy class compared to the baseline; b) the reduction of CO₂ emissions equal to the decrease of at least 20% of the value before upgrading.

When defining the CIS and elaborating the Technical Project Briefs, indicators a) and b) were prudently set at the minimum feasible threshold, in consideration of the discontinuous knowledge of the current state of efficiency and energy-environmental performance profile of the school heritage, as a widespread condition in some of the Municipalities of Roma Capitale. The evaluation of the performance achieved with the interventions proposed in the Technical-Economic Feasibility Projects was done by verifying, in addition, the further contribution of RES in the face of a reduction in overall energy demand by monitoring additional KPIs: c) the total primary energy demand; d) the non-renewable primary energy demand; e) the renewable primary energy demand; and f) the share of renewable energy production.¹¹

Indicators a) and b) were found to be of immediate significance with respect to the level of energy efficiency achieved and the impact of decarbonisation on the built environment. Downstream of the Technical-Economic Feasibility Projects, the minimum thresholds for energy class improvement and CO₂ emissions reduction were met and largely exceeded in all properties undergoing redevelopment. Regarding indicators c), d), e), and f), the overall energy requirements of the buildings have been reduced by far, with energy resource consumption largely covered by RES. The systemic monitoring of all KPIs has, therefore, made it possible to make a comprehensive assessment of the overall impacts of the interventions on individual buildings and in terms of the city's overall energy-environmental balance.

Materials and methods | In the territory of the Municipality of Rome, there are 1,394 buildings intended for school use, of which 1,296 are owned by the Roma Capitale and 104 owned by the province; the CIS Roma Scuole Verdi identified 212 buildings in need of upgrading, accounting for 16.4% of the municipal school stock; of these, 111 buildings were the subject of the first phase of the CIS, thus con-

stituting a relevant sample in terms of construction period, typological-architectural consistency and technological-plant characterisation. Figures 9 through 11 show the distribution of school buildings by period of construction and gross heated volume, flanking a historical-cultural, technological-constructive¹² and dimensional analysis with a reading of legislative developments in energy efficiency.¹³

The data show that 35.1% of the buildings for school use predate 1976, the year in which the first Italian law on energy conservation was introduced (Legge 30 Marzo 1976 n. 373 on regulations for the containment of energy consumption for thermal uses in buildings), while 61.3% were built between 1976 and 1991, the year in which, through Legge 9 Gennaio 1991 n. 10 (Regulations for the implementation of the National Energy Plan on the rational use of energy), the design, installation and operation of plant systems were regulated, and the calculation methods for energy requirements were updated. These data highlight how a large part of the Roman school building stock analysed could be more efficient from an energy-environmental point of view, unless subsequent maintenance work is carried out.

The subdivision of school buildings by historical phases and time cycles allowed for a typification of the buildings undergoing redevelopment by homogeneous groups with similar problems, both in relation to the urban context and typological organisation and by technological plant and energy-environmental characterisation, with respect to which it was possible to hypothesise common types of intervention, within a checklist of intervention strategies defined by process and project governance since the CIS planning phase.

The opaque envelope of these buildings is generally characterised by highly leaky walls (masonry, cavity insulated or curtain wall) and by roofs that have serious infiltration problems or require ballasting to be adequate for integration with the necessary plant equipment (photovoltaic panels, AHUs, etc.). At the same time, the window and shuttering systems do not meet the thermal-acoustic performance required by the regulations currently in force¹⁴. Thermal energy needs are mainly met by natural gas or oil-fired boilers. The condition of electrical and thermal system terminals depends on the frequency of maintenance work carried out over time. Where photovoltaic systems or solar panels are present, these systems are often found to be inoperable and need to be compensated or replaced in full.

Currently, only 1.8% of the buildings are in energy class C. In contrast, all others belong to lower performance levels, specifically classes D (13.5%), E (38.8%), F (34.2%), and G (11.7%), with a current production of global CO₂ emissions of 5,287.3 kg/mc per year.

A key phase of the experimental research involved the assessment of the state of affairs and the calibration of interventions in relation to the architectural and plant engineering susceptibility of the affected properties. The survey by the designers and the Energy Diagnosis enabled verification of the actual technological-plant consistency, compared to the energy-environmental data initially provided by the PA at the same time as the Technical Project Briefs were drafted.

The updating of the APEs (Energy Performance

Certificates) has improved transparency in the efficiency quality of the entire building stock: the certificates have provided information on the technical characteristics of buildings and plant systems, residual energy performance and planned interventions on the envelope / plant system to ensure their improvement, returning input/output data regarding energy class and pollutant emissions, consumption and primary energy requirements (total, renewable and non-renewable) and the resulting share of production from RES.

In a large-scale energy efficiency rationale, these data (made available and simulated) were essential for identifying the worst-performing properties in urgent need of upgrading and for assessing the achievable improvements as a function of investment (comparing the ante and post situation), helping to prioritise interventions and to ensure a high level of energy-environmental quality of individual buildings, compared with the city's entire public real estate stock.

Concurrently with the drafting phase of the Technical-Economic Feasibility Projects, the Research Group assessed the potential benefits of the proposed redevelopment interventions on individual properties and municipalities, possibly directing the designers toward appropriate optimisations.

Results | The graph in Figure 12 shows that thermal insulation interventions of the opaque envelope were applied in 84.7% of cases on the roofs also in order to mitigate overheating in summer conditions, in 19.8% on the counter-ground floors and 70.3% on the vertical perimeter walls. In all Schools, the replacement of external vertical window frames, including their shading systems, has been planned to enable compliance with current thermal-acoustic standards.

The limitation of the generalised extension of retrofit measures on the opaque envelope is sometimes due to the presence of low-dispersing surfaces with acceptable thermal transmittance values, at other times to architectural features of valuable properties subject to historical-cultural constraints or technical difficulties of execution (as in the case of insulation from the inside mostly in load-bearing masonry walls or by insufflation of curtain walls) as well as to the recent performance of maintenance work.

The actions planned for the systems (Fig. 13) involved, in 91.9% of the cases, the renovation of the heating systems with the replacement of the heat generator and terminals; in particular, the radiator type was adopted for 84.7%, while for the remaining 7.2% of the schools, including Kindergartens and Preschools, radiant floor heating systems were planned, intervening in parallel on the insulation of the counter-ground floors. It turns out, in fact, that younger children spend a lot of time playing in contact with the floor, and radiant panels may be the best solution to ensure the lack of potentially dangerous encumbrances, quietness and, above all, a comfortable surface temperature given the absence of drafts.

The insertion of a thermal energy production system from a solar system or the commissioning of collectors, already installed but inactive, was planned for 79.3% of the buildings unless there are landscape-environmental incompatibilities; the installation of heat pumps was proposed in 85.6% of the buildings.

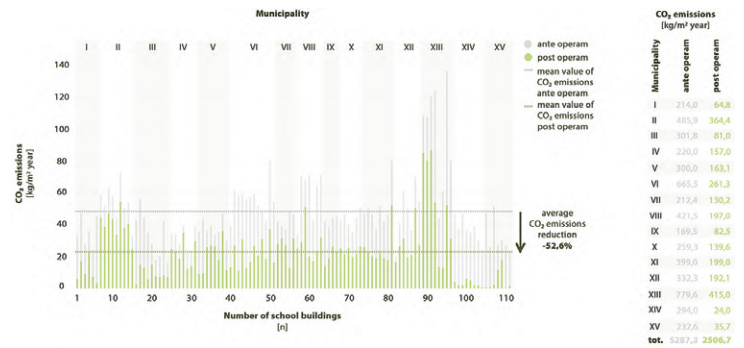
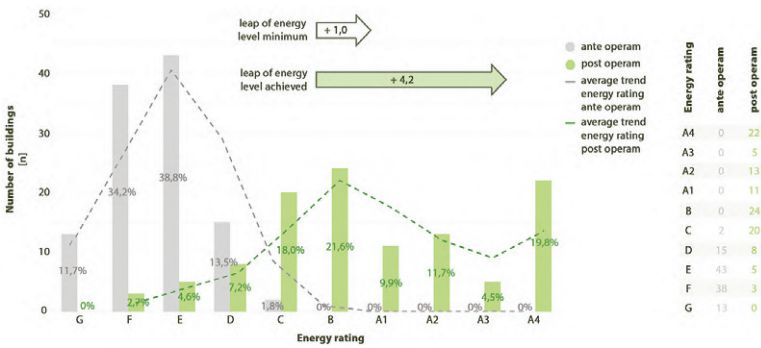
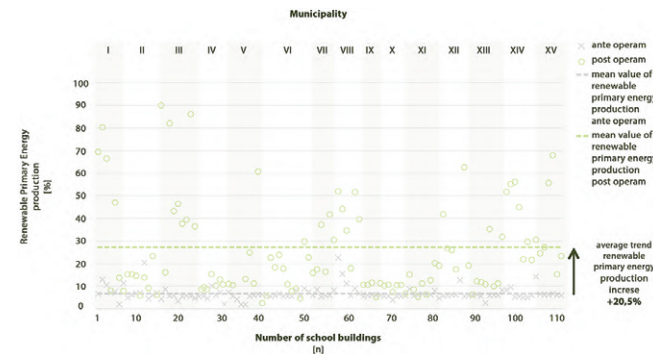
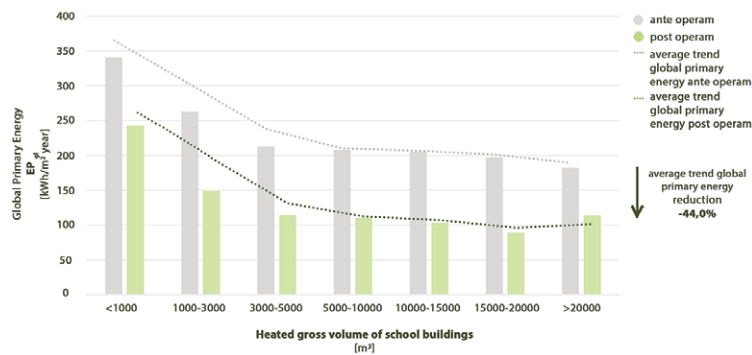


Fig. 18 | Global unit primary energy requirements per gross heated volume of school buildings (credit: CIS Roma Scuole Verdi – First phase, adapted by the Authors, 2024).

Fig. 19 | KPI f): Increasing the share of renewable energy production in the school building sector (credit: CIS Roma Scuole Verdi – First phase, adapted by the Authors, 2024).

Fig. 20 | KPI a): Improving the energy class level of the school building compartment (credit: CIS Roma Scuole Verdi – First phase, adapted by the Authors, 2024).

Fig. 21 | KPI b): Lowering CO₂ emissions of the school building sector (credit: CIS Roma Scuole Verdi – First phase, adapted by the Authors, 2024).

Regarding electricity production, a photovoltaic system has been planned in almost all buildings (99.1%). The electricity implemented with the self-generation systems will be used for the commissioning of technological equipment, for the lighting system (which in 98.2% of cases will be upgraded by replacing lighting fixtures with LED technology), and for the powering of Building Automation systems, assumed in 70.3% of the schools.

There is a reduction in thermal and electrical energy consumption in all renovated school buildings. Figure 14 shows the primary energy savings compared to the current situation, showing a significant decrease in total energy demand of 46.2% (KPI c). The next diagrams consider the change in overall energy demand in the ante- and post-operam phases, separated into the two components of non-renewable (Fig. 15) and renewable (Fig. 16): in the first diagram, a significant reduction in the non-renewable energy demand of 56.0% (KPI d) is evident, coinciding with a lower demand for thermal and electrical energy supply from the grid; on the contrary, in the second figure, an increase of 117.4% in the renewable primary energy demand (KPI e), corresponding to the use of RES-powered plants and equipment, is noted, compared to the current situation.

Figure 17 relates the overall primary energy demand to the era of construction, highlighting the impact of technological-plant susceptibility of buildings on overall energy performance. In the ante-operam condition, there is evidence of a slight increase in energy demand over the years, i.e., transitioning from buildings made of load-bearing masonry to those with frame structures. In the post-operam condition, on the other hand, the requirement decreases in the phase following the energy efficiency interventions: this reduction is more sig-

nificant in older buildings, highlighting how the proposed efficiency interventions have greater effectiveness on historic buildings.

Figure 18 relates the overall primary energy demand to the gross heated volume: a decrease in energy demand is observed in both the ante- and post-operam condition as the gross heated volume increases, with an average value of 44.0%; in particular, for more significant buildings, a substantial reduction in energy demand is noted. Overall, a 20.5% increase in the share of renewable energy production in the post-operam phase is achieved (KPI f; Fig. 19); thus, the use of RES-powered plant systems enables significant progress toward electrification and decarbonisation of school buildings.

In conclusion, in the post-intervention phase, there is an average increase in energy class of 4.2 positions (Fig. 20), well above the one-class jump required by the CIS (KPI a) with a frequency of buildings in class A4 (19.8%), A3 (4.5%), A2 (11.7%), A1 (9.9%), B (21.6%), C (18.0%), D (7.2%), E (4.6%), and F (2.7%). Similarly, the reduction in CO₂ emissions is much more significant than the minimum threshold of 20%, moving to a total production value of CO₂ of 2,506.7 kg/mc per year, with an average lowering of 52.6% (KPI b; Fig. 21).

The final overall value of the results obtained, summarised in KPIs a), b), c), d), e), and f) for individual buildings, municipalities, and the entire territory of Rome, is relevant in the context of the overall programming and planning of actions to be implemented on a large scale, through the use or combination of technologies and experimentation with plant solutions, which have the potential for replicability.

Conclusions and future developments | The interventions proposed with the CIS Roma Scuole

Verdi guarantee the achievement of a high level of energy-environmental quality, with potential impacts on the conditions of use and management of buildings through a significant reduction in energy needs (largely absorbed by RES) and with significant contributions in terms of decarbonisation of the built environment. This result takes on a considerable connotation when one considers the impact that the hypothesised design strategies and solutions have not so much on the individual building, but on the set of buildings as a whole, being strategic in the perspective of large-scale programming and planning of interventions.

The initiation of a general process of energy upgrading affecting a substantial amount of municipally owned school buildings is an opportunity to achieve primary objectives, such as increasing energy class and reducing climate-changing emissions, but also to ensure the efficiency of the envelope and the complete retrofitting of thermal and electrical systems, as well as the establishment of maintenance and plant upgrading procedures to be implemented in a planned and preventive manner that will reduce the current state of obsolescence and lower consumption, taking advantage of the positive contribution of RES.

The framework on intervention types and intensity and KPIs prepared provides, in this direction, useful parameters for PAs involved in guiding decision-making and monitoring the design and implementation of energy upgrading programmes on similar school buildings.

The implemented methodology represents the basis for the construction of a roadmap of measures for the deep renovation of school buildings in a 'carbon-neutral' direction to be adopted at the urban scale, concerning aspects of greater significance, such as the age of construction, building

texture, construction technology and plant equipment present, returning a summary picture of relevant input / output data in terms of total, renewable and non-renewable primary energy requirements, share of consumption associated with the use of renewable sources, level of energy class and reduction of CO₂ emissions, achieved through specific interventions.

The synergies between the different design strategies and the hypothesised interventions are evident when moving from the building scale to the urban scale, determining system efficiencies that

point as much as possible to the replacement of fossil fuels, electrification and the decisive increase in the use of RES, allowing to embark on a path of decarbonisation that has significant spin-offs on the entire public building stock of the city.

Based on the experience shown and the data obtained, the PA of Roma Capitale itself will be able to proceed expeditiously with the implementation of a dense energy renovation plan involving other school buildings, in coherence with the CIS, with the PNRR projects being implemented and with the guidelines of the PAESC, which already envis-

ages, in the first instance, the installation of photovoltaic systems on the roofs of 15 Schools (one for each Municipality) to activate the first energy communities capable of sustaining the energy needs of entire urban compartments.

Notes

1) Cities are responsible for about two-thirds of the world's energy consumption and more than 70% of annual global carbon emissions. For more information, see IEA (2021).

2) The Reference is to SDGs no. 7 – Affordable and Clean Energy, no. 11 – Sustainable Cities and Communities, and no. 13 – Climate Action.

3) With COP28, there is increased awareness of drastically reducing GHG emissions to achieve carbon neutrality, lowering the global temperature level below 1.5 °C (European Commission, 2023).

4) With the new Directive (EU) 2024/EPBD IV, minimum energy performance standards are proposed for upgrading within a 15% consumption threshold for non-residential public buildings, mandating a move from APEs grade G to grade F by 2027, subject to historical and cultural constraints. For more information, see the webpage: documenti.camera.it/leg19/documentiAcquisiti/COM06/Audizioni/leg19.com06.Audizioni.Allegato.PUBBLICO.id eGes.27274.16-01-2024-11-22-26.198.pdf [Accessed 18 March 2024].

5) Energy Efficiency Directive (EU) 2023/1791, as an integral part of the 'Fit for 55' package, requires the public sector to reduce total final energy consumption by at least 1.9% per year and to ensure the minimum annual renovation of 3% of the total covered area of heated and/or cooled buildings.

6) The PNIEC indicates a consumption reduction target for buildings to 2030 of 43% primary energy and 39.7% final energy (MASE, 2023).

7) The experimental research is the result of the scientific collaboration agreement 'Technical Support to the RUP in the Management of the Functions and Tasks referred to in Art. 31 of Legislative Decree 50/2016 and referred to ANAC Guidelines nr. 3, in the Scope of the Institutional Activities of the CIS Roma Scuole Verdi (First Phase – Technical-Economic Feasibility Projects Service)' between Roma Capitale, CSIMU Department (Coordination of Infrastructure Development and Urban Maintenance), Head Ing. E. Dello Vicario (RUP), and the DiAP (Department of Architecture and Design) of the 'Sapienza' University of Rome; Scientific Head: Prof. C. Clemente; Working Group: Prof. E. Arbizzani, PhD A. Mangiatordi and Dr. M. Zagaria (O.U. ICAR/12), Prof. F. Mancini (Eng-Ind/11), and Prof. F. Tajani (ICAR/22).

8) The CIS – signed in July 2022 by Roma Capitale together with the Presidency of the Council of Ministers (Minister for the South and Territorial Cohesion), MEF, MITE (now MASE), MIUR (now MIM), the Lazio Region, and Invitalia – was financed with an investment of about 400 million euros, within the FSC 2021-2027, the PON Metro 2021-2027, and through the activation of an EIB (European Investment Bank) loan. For more information, see the webpage: eib.org/en/press/all/2023-159-investeu-la-bei-and-roma-capital-sign-an-agreement-of-technical-consult-

[ing-for-energy-efficiency-of-over-200-schools](#) [Accessed 18 March 2024].

9) With the PAESC, Rome defines an emissions reduction curve consistent with the goals of the Paris Agreement. It envisions lowering 4,346 million tons of CO₂ by 2030, including (through large-scale) deep renovation of school buildings and creating energy communities centred around schools.

10) The application for the installation of a photovoltaic system fulfils the indications of the CAM and the current regulations on the supply from renewable sources, which requires, through the use of RES-powered systems, the simultaneous compliance with the coverage of 65% of the expected consumption for the production of domestic hot water (DHW) and 65% of the sum of the expected consumption for the production of DHW, winter air conditioning and summer air conditioning, as provided in Annex III of the Italian Decreto Legislativo 8 Novembre 2021 n. 199, on the promotion of the use of energy from renewable sources.

11) The C40 has developed a climate commitment scenario by which Rome aims to reduce emissions by 66.3% by 2030. The CCC (Climate City Contract) includes in the planning the upgrades of the school building stock to be implemented by 2030, with the aim of achieving the maximum reduction in energy consumption and emissions through self-generation from solar photovoltaics and the elimination of fossil gas plants where technically possible in the direction of the new EPBD.

12) The buildings analysed were built after the Unification of Italy and more prominently in the Second Postwar period, mainly using the technique of cast-in-place reinforced concrete and industrialised prefabricated systems. The sample also includes a smaller proportion of buildings constructed before 1950, mainly in load-bearing masonry or mixed systems of reinforced concrete and load-bearing masonry, with valuable architectural features subject to constraints, as defined by Legislative Decree 42/2004. For more information, see the webpage: normattiva.it/urn:nir:state:decreto.legislativo:2004-01-22;42 [Accessed 18 March 2024].

13) For more information, see: Legge 30 Marzo 1976 n. 373 and Legge 9 Gennaio 1991 n. 10.

14) In Italy, UNI 11367:2010 provides reference values for acoustic requirements for school buildings, a standard also taken up in Section 2.4.11 – Acoustic Performance and Comfort' of CAM (MITE, 2022b).

References

Antonini, E., Boeri, A., Gaspari, J., Gianfrate, V. and Longo, D. (2015), "La qualità dell'edilizia scolastica – Un'emergenza nazionale, un ambito di ricerca | The quality of school buildings – A national emergency, a research field", in *Techne | Journal of Technology for Architecture and Environment*, vol. 9, pp. 114-122. [Online] Available at: doi.org/10.13128/Techne-16112 [Accessed 18 March 2024].

Baiani, S. and Altamura, P. (2019), "Il Processo del Progetto per la Resource Productivity – Un Caso Studio | The Design Process towards Resource Productivity – A Case Study", in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 5, pp. 83-92. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/592019 [Accessed 18 March 2024].

BPIE – Buildings Performance Institute Europe (2021), *Deep renovation – Shifting from exception to standard practice in EU policy*. [Online] Available at: bpie.eu/wp-content/uploads/2021/11/BPIE_Deep-Renovation-Briefing_Final.pdf [Accessed 18 March 2024].

Clemente, C. (2012), "Sostenibilità, sicurezza ed efficienza energetica nel recupero edilizio – Strumenti e strategie per la riqualificazione integrata e la valorizzazione del patrimonio scolastico nell'area metropolitana romana | Sustainability, safety and energy efficiency in the building recovery – Strategies for the integrated retrofit of the existing school building stock in the Roman metropolitan area", in *Ponte | Architettura, Tecnica e Legislazione per Costruire*, vol. 4, pp. 49-67. [Online] Available at: researchgate.net/publication/236617548_Sostenibilita_sicurezza_ed_efficienza_energetica_nel_recupero_edilizio_Sustainability_safety_and_energy_efficiency_in_the_building_recovery [Accessed 18 March 2024].

Clemente, C., Altamura, P. and Cellurale, M. (2019), "Green Public Procurement – Innovation and environmental qualification of the production process built environment", in De Giovanni, G. and Scalisi, F. (eds), *Pro-Innovation – Process, Production, Product*, Palermo University Press, Palermo, pp. 155-170. [Online] Available at: doi.org/10.19229/978-88-5509-055-1/2112019 [Accessed 18 March 2024].

Decreto Legislativo 31 Marzo 2023 n. 36, "Ripubblicazione del testo del decreto legislativo 31 marzo 2023, n. 36, recante: Codice dei contratti pubblici in attuazione dell'articolo 1 della legge 21 giugno 2022, n. 78, recante delega al Governo in materia di contratti pubblici", in *Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana*, n. 77 del 31/03/2023, suppl. ordinario n. 10. [Online] Available at: gazzettaufficiale.it/eli/id/2023/04/13/23A02179/sg [Accessed 18 March 2024].

Decreto Legislativo 8 Novembre 2021 n. 199, "Attuazione della direttiva (UE) 2018/2001 del Parlamento europeo e del Consiglio, dell'11 dicembre 2018, sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili (21G00214)", in *Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana*, n. 285 del 30/11/2021, suppl. ordinario n. 42. [Online] Available at: gazzettaufficiale.it/eli/id/2021/11/30/21G00214/sg [Accessed 18 March 2024].

European Commission (2023), *COP28UAE – Global Renewables and Energy Efficiency Pledge*. [Online] Available at: energy.ec.europa.eu/system/files/2023-12/Global_Renewables_and_Energy_Efficiency_Pledge.pdf [Accessed 18 March 2024].

European Commission (2020a), *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Com-*

mittee of the Regions – A Renovation Wave for Europe – Greening our buildings, creating jobs, improving lives, document 52020DC0662, 662 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1603122220757&uri=CELEX:52020DC0662 [Accessed 18 March 2024].

European Commission (2020b), *Proposed mission – 100 Climate-neutral Cities by 2030 – By and for the Citizens – Report of the mission board for climate-neutral and smart cities*. [Online] Available at: op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/bc7e46c2-fed6-11ea-b44f-01aa75ed71a1/language-en/format-PDF/source-160480388 [Accessed 18 March 2024].

European Commission (2020c), *Stakeholder consultation on the Renovation Wave initiative – Synthesis Report*. [Online] Available at: energy.ec.europa.eu/document/download/a1869a12-cd74-43d2-82e7-92a846166646_en?filename=stakeholder_consultation_on_the_renovation_wave_initiative.pdf. [Accessed 18 March 2024].

European Commission (2020d), *Commission Staff Working Document Impact Assessment accompanying the document Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – Stepping up Europe's 2030 climate ambition – Investing in a climate-neutral future for the benefit of our people*, document 52020SC0176, 176 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=SWD:2020:176:FIN [Accessed 18 March 2024].

European Commission (2020e), *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – Stepping up Europe's 2030 climate ambition – Investing in a climate-neutral future for the benefit of our people*, document 52020SC0562, 562 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52020DC0562 [Accessed 18 March 2024].

European Commission (2019), *Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – The European Green Deal*, document 52019DC0640, 640 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN [Accessed 18 March 2024].

European Commission (2008), *Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – Public procurement for a better environment*, document 52008DC 0400, 400 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A52008DC0400 [Accessed 17 April 2024].

European Parliament and Council of the European Union (2023a), *Directive (EU) 2023/1791 of the European Parliament and Council of the European Union of 13 September 2023 on energy efficiency and amending Regulation (EU) 2023/955 (recast)*, document 32023L179, PE/15/2023/INIT. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ%3AJOL_2023_231_R_0001 [Accessed 18 March 2024].

European Parliament and Council of the European Union (2023b), *(EU) 2023/2413 of the European Parliament and of the Council of the European Union of 18 October 2023 amending Directive (EU) 2018/2001, Regulation (EU) 2018/1999 and Directive 98/70/EC as regards the promotion of energy from renewable sources, and repealing Council Directive (EU) 2015/652*, document 32023L2413, PE/36/REV/2. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/eli/dir/2023/2413/oj [Accessed 18 March 2024].

European Parliament and Council of the European Union (2023c), *Directive (EU) 2023/1791 of the European Parliament and of the Council of 13 September 2023 on energy efficiency and amending Regulation (EU) 2023/955 (recast)*, document 32023L1791, PE/15/2023/INIT. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ

%3AJOL_2023_231_R_0001 [Accessed 18 March 2024].

European Parliament and Council of the European Union (2018), *Directive (EU) 2018/2002 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 amending Directive 2012/27/EU on energy efficiency*, document 32018L2002, PE/54/2018/REV/1. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/eli/dir/2018/2002/oj [Accessed 18 March 2024].

IEA – International Energy Agency (2021), *Empowering Cities for a Net Zero Future – Unlocking resilient, smart, sustainable urban energy systems*. [Online] Available at: iea.org/reports/empowering-cities-for-a-net-zero-future [Accessed 18 March 2024].

Interreg Mediterranean (2018), *Explore the Interreg MED projects*. [Online] Available at: interreg.eu/wp-content/uploads/2019/07/projects_catalogue_en-BD.pdf [Accessed 18 March 2024].

Legambiente (2023), *Ecosistema Scuola – XXII Rapporto nazionale sulla qualità degli edifici e dei servizi scolastici*. [Online] Available at: legambiente.it/wp-content/uploads/2023/01/Ecosistema-Scuola_2023.pdf [Accessed 18 March 2024].

Legambiente (2021), *L'inefficienza energetica del patrimonio edilizio scolastico – Il diritto allo studio passa per edifici sicuri, salubri e confortevoli – La fotografia di Roma*. [Online] Available at: legambiente.it/wp-content/uploads/2021/11/inefficienza-energetica-del-patrimonio-edilizio-scolastico.pdf [Accessed 18 March 2024].

Legge 9 Gennaio 1991 n. 10, “Norme per l'attuazione del Piano energetico nazionale in materia di uso nazionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia”, in *Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana*, n. 13 del 16/01/1991, suppl. ordinario n. 6. [Online] Available at: gazzettaufficiale.it/eli/id/1991/01/16/091G0015/sg [Accessed 18 March 2024].

Legge 30 Marzo 1976 n. 373, “Norme per il Contenimento del Consumo Energetico per Usi Termici negli Edifici”, in *Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana*, n. 148 del 07/06/1976. [Online] Available at: gazzettaufficiale.it/eli/id/1976/06/07/076U0373/sg [Accessed 18 March 2024].

Liébana-Durán, M. E., Serrano-Lanzarote, B. and Ortega-Madrigal, L. (2021), “Identification of Cost-Optimal Measures for Energy Renovation of Thermal Envelopes in Different Types of Public School Buildings in the City of Valencia”, in *Applied Sciences*, vol. 11, issue 11, article 5108, pp. 1-16. [Online] Available at: doi.org/10.3390/app11115108 [Accessed 18 March 2024].

MASE – Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (2023), *Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima*. [Online] Available at: mase.gov.it/sites/default/files/PNIEC_2023.pdf [Accessed 18 March 2024].

MITE – Ministero della Transizione Ecologica (2022a), “Piano d'azione per la sostenibilità ambientale dei consumi nel settore della Pubblica Amministrazione, ovvero Piano d'Azione Nazionale sul Green Public Procurement (PANGPP) – Criteri Ambientali Minimi per l'affidamento del servizio di progettazione ed esecuzione dei lavori in interventi edilizi”, in *Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana*, n. 183 del 06/08/2022. [Online] Available at: gpp.mite.gov.it/sites/default/files/2022-08/GURI_183_06_08_22_Allegato_Edilia.pdf [Accessed 18 March 2024].

MITE – Ministero della Transizione Ecologica (2022b), “Decreto 23 giugno 2022 – Criteri Ambientali Minimi per l'affidamento del servizio di progettazione di interventi edilizi, per l'affidamento dei lavori per interventi edilizi e per l'affidamento congiunto di progettazione e lavori per interventi edilizi (22A04307)”, in *Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana*, n. 183 del 06/08/2022. [Online] Available at: gazzettaufficiale.it/eli/id/2022/06/06/22A04307/sg [Accessed 18 March 2024].

Romano, G., Lalloa, F. C. and Mancini, F. (2021), “Halving of consumption and energy efficiency of the Mario Pagano National boarding school in Campobasso”, in ATI Italian Termotecnics Association (eds), *E3S Web of Conferences | Proceedings of the 76th Italian National Congress ATI (ATI 2021) – Transizione ecologica e digitale – Il ruolo dell'Energia*, September 15-17, 2021, Roma, pp. 1-8. [On-

line] Available at: doi.org/10.1051/e3sconf/202131202010 [Accessed 18 March 2024].

Romano, G., Rosso, M., Mancini, F. and Salvo, S. (2023), “Improving energy efficiency and Indoor Environmental Quality in the School of Mathematics at the Sapienza University campus in Rome”, in *Journal of Physics – Conference Series*, vol. 2648, issue 1, article 012038, pp. 1-15. [Online] Available at: doi.org/10.1088/1742-6596/2648/1/012038 [Accessed 18 March 2024].

Roma Capitale (2024), *Proposta di Strategia di Adattamento Climatico*. [Online] Available at: cittaclima.it/wp-content/uploads/2024/01/Strategia-Roma-DEF.pdf [Accessed 18 March 2024].

Roma Capitale (2023), *Piano Clima Roma – Aggiornamento del Piano di azione per l'energia sostenibile e il clima – Obiettivo 1,5 gradi*. [Online] Available at: comune.roma.it/web-resources/cms/documents/Piano_Clima_2023_light_230914_095428.pdf [Accessed 18 March 2024].

Spano, D., Mereu, V., Bacciu, V., Barbato, G., Buonocore, M., Casartelli, V., Ellena, M., Lamesso, E., Ledda, A., Marras, S., Mercogliano, P., Monteleone, L., Mysiak, J., Padulano, R., Raffa, M., Ruiu, M. G. G., Serra, V. and Villani, V. (2021), *Analisi del rischio – I cambiamenti climatici in sei città italiane – Roma, Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici*. [Online] Available at: files.cmcc.it/rischio_clima_2021/CLIMA_Roma_Completo.pdf [Accessed 18 March 2024].

TABULA (2012), *Typology Approach for Building Stock Energy Assessment – Main Results of the TABULA project – Final Project Report – Appendix Volume*. [Online] Available at: episcopo.eu/downloads/public/docs/report/TABULA_FinalReport_AppendixVolume.pdf [Accessed 18 March 2024].

UN – United Nations (2015), *Transforming Our World – The 2030 Agenda for Sustainable Development*, A/RES/70/1. [Online] Available at: sustainabledevelopment.un.org/content/documents/21252030%20Agenda%20for%20Sustainable%20Development%20web.pdf [Accessed 18 March 2024].

UNI 11367:2010, *Acustica in edilizia – Classificazione acustica delle unità immobiliari – Procedura di valutazione e verifica in opera | Building acoustics – Acoustic classification of building units – Evaluation procedure and in situ measurements*. [Online] Available at: store.uni.com/en/uni-11367-2010 [Accessed 18 March 2024].

ARTICLE INFO

Received	18 March 2024
Revised	22 April 2024
Accepted	02 May 2024
Published	30 June 2024

INFRASTRUTTURE VERDI URBANE IN AMERICA LATINA

Una strategia per i cortili di Bogotá

URBAN GREEN INFRASTRUCTURE IN LATIN AMERICA

A strategy for Bogotá courtyards

Julia Nerantzia Tzortzi, Maria Stella Lux, Natalia Pardo Delgado

ABSTRACT

Infrastrutture verdi e soluzioni basate sulla natura sono fondamentali per la trasformazione sostenibile delle città in luoghi più resilienti e inclusivi. Tuttavia la pianificazione e la progettazione di questi interventi richiedono di essere adattate ad ambienti urbani e contesti socioeconomici molto diversi. L'ambito dell'America Latina e dei Caraibi risulta ancora poco studiato, benché sia una delle aree globali più urbanizzate. In quest'ottica il contributo fornisce una cornice analitica e progettuale per l'integrazione di soluzioni basate sulla natura in contesti urbani al fine della mitigazione del microclima e il miglioramento della fruibilità, costruito tenendo conto delle peculiarità morfologiche, storiche, climatiche ed amministrative dell'America Latina, applicato e testato nel caso di studio di Bogotá (Colombia). Il risultato è una matrice per la costruzione di strategie progettuali basata su tre attributi chiave degli spazi esterni e quattro componenti progettuali.

Green infrastructure and nature-based solutions are crucial for the sustainable transformation of cities into more resilient and inclusive places. However, the planning and design of these interventions must be tailored to different urban environments and socioeconomic contexts. Despite being one of the most urbanised global areas, the Latin American and Caribbean region still needs to be more researched. In this regard, this contribution provides an analytical and design framework for integrating nature-based solutions in dense urban contexts for microclimate mitigation and improved usability. It is constructed by considering the morphological, historical, climatic, and administrative peculiarities of Latin America, and it has been applied and tested in the case study of Bogotá (Colombia). The result is a matrix for constructing design strategies based on three key attributes of outdoor spaces and four design components.

KEYWORDS

cortili urbani, microclima outdoor, infrastruttura verde urbana, soluzioni basate sulla natura, America Latina

urban courtyards, outdoor microclimate, urban green infrastructure, nature-based solutions, Latin America

Julia Nerantzia Tzortzi, PhD, is an Associate Professor of Landscape Architecture at the Department of Architecture, Built Environment, and Construction Engineering of the Polytechnic University of Milan (Italy). She is a Full Member of the Landscape Institute (UK), AIAPP, and IASLA. Her research focuses on urban resilience, impact assessment of nature-based solutions, and sustainable design. E-mail: julia.georgi@polimi.it

Maria Stella Lux, PhD, is a Research Fellow in Landscape Architecture at the Department of Architecture, Built Environment, and Construction Engineering of the Polytechnic University of Milan (Italy). Her research involves the integration of green infrastructure and nature-based solutions in historic urban areas. E-mail: mariastella.lux@polimi.it

Natalia Pardo Delgado, Landscape Architect, has teaching assistance experience in the University, private design projects, and collaborations with Colombian Entities and Institutions such as VISR (Rural Social Interest Housing) and the Banco Agrario de Colombia. E-mail: natalia.pardo@mail.polimi.it



Negli ultimi decenni l'imperativo della sostenibilità è diventato sempre più pressante, soprattutto se associato all'avvicinarsi di scadenze inderogabili per l'inversione della tendenza nella produzione di emissioni clima-alteranti e nei pattern di crescita e consumo di risorse (IPCC, 2022, 2023). Se si considera che a livello globale le città sono responsabili di circa il 75% delle emissioni di biossido di carbonio, benché occupino solamente l'1-3% della superficie terrestre, e che la crescita della popolazione urbanizzata raggiungerà il 68% entro il 2050 (United Nations, 2022) si intuisce quanto gli ambienti urbani costituiscano un ambito di trasformazione cruciale per il raggiungimento degli obiettivi di sostenibilità. Per tali motivi il filone di ricerca sull'integrazione di infrastrutture verdi e Nature-based Solutions (NbS) in contesti urbani è in costante crescita e sempre più la ricerca teorica è rafforzata da evidenze empiriche e buone pratiche (Andersson et alii, 2014; Frantzeskaki, 2019; Ingaramo and Stepanovic, 2021).

Tuttavia si osserva un forte squilibrio nella distribuzione geografica della ricerca teorica e pratica sulle NbS, con forte sbilanciamento verso il Nord globale (Stati Uniti ed Europa) e un ruolo decisamente marginale del resto del mondo (Flores et alii, 2022; Mercado et alii, 2024). Tale squilibrio si riflette in una mancanza di ricerca applicata ai contesti urbani dei Paesi in via di sviluppo, nella scarsità di esperienze concrete da prendere ad esempio e in una sostanziale esclusione proprio di quegli ambiti urbani che attualmente risultano in maggiore crescita (Dobbs et alii, 2019).

America Latina e Caraibi (ALC) in particolare costituiscono un'area critica per gli obiettivi di sostenibilità globale dato che ospitano il 50% della biodiversità globale: esse sono una delle aree più urbanizzate al mondo e presentano uno dei più alti tassi di crescita stimata di popolazione urbana per i prossimi anni (IDB, 2020), ma le peculiarità dei modelli urbani e delle caratteristiche amministrative di questi Paesi sono escluse dagli studi più avanzati.

In quest'ottica la presente ricerca sviluppa uno strumento di supporto al processo progettuale per integrare soluzioni verdi a piccola scala in aree consolidate del tessuto urbano per la mitigazione del microclima e l'aumento della biodiversità, con specifico riferimento al contesto sudamericano. L'originalità del contributo risiede nella combinazione di considerazioni qualitative e quantitative e nell'integrazione di metodi di analisi tradizionali, come lo studio dell'evoluzione storica del contesto urbano, con altri di più recente sviluppo, ad esempio le simulazioni microclimatiche. La combinazione di queste componenti confluisce all'interno di una matrice di supporto alla costruzione di strategie progettuali per l'integrazione di NbS in spazi ridotti, come i cortili urbani e altri spazi minori. Si tratta di uno strumento flessibile, replicabile in diversi contesti e volto a garantire un buon equilibrio tra le necessità di conservazione e valorizzazione dell'identità storica e le esigenze di adattamento e mitigazione.

Il lavoro di ricerca parte dall'inquadramento dello stato dell'arte, illustrato nella sezione che segue, in cui si presenta l'avanzamento del dibattito sul rapporto tra città e natura e si discute l'apparente conflitto tra tensione all'innovazione, conservazione e sostenibilità. A seguire si presentano i

principali riferimenti teorici e l'approccio metodologico in quattro fasi; nella quarta sezione viene presentato il caso studio di Bogotá, applicandovi le tre fasi di analisi esposte nella metodologia; successivamente si illustra la matrice di supporto al processo progettuale e infine, nell'ultima sezione, i risultati ottenuti vengono discussi criticamente.

Innovazione e continuità tra città e natura | L'insediamento della specie umana nel contesto naturale ne determina da sempre una trasformazione allo scopo di trarne vantaggi, risorse e opportunità. Come sottolineato dai dati del World Urbanization Prospects (United Nations, 2022), la struttura urbana rappresenta attualmente la forma più diffusa di insediamento umano e anche quella maggiormente destinata a crescere. L'espansione delle città causa una modifica irreversibile dell'ambiente naturale, attraverso l'infrastrutturazione massiccia, l'impermeabilizzazione estensiva dei suoli e la concentrazione di persone e funzioni in spazi ridotti.

Tale impostazione delle città contemporanee apre un evidente conflitto con i criteri di sostenibilità a lungo termine ed evidenzia la necessità di ripristinare un equilibrio tra i meccanismi di funzionamento della natura e le nostre modalità insediative. In questo senso la sfida della sostenibilità si gioca sulla tensione tra il ritorno a una situazione di equilibrio ormai compromessa e la spinta propulsiva dell'innovazione e della crescita, aspetti che tuttavia non devono essere intesi come conflittuali, bensì come collaboranti.

Il degrado avanzato dell'ambiente naturale impone in un certo senso di tornare indietro, di depavimentare, di liberare spazio per reintrodurre componenti naturali, ma la modalità in cui questo avviene richiede il massimo sforzo di innovazione tecnologica e creatività da parte della comunità scientifica e degli attori che agiscono nei contesti urbani (Delgado-Capel and Cariñanos, 2020).

In questo contesto la ricerca sulle infrastrutture verdi e sulle NbS rappresenta uno degli ambiti di innovazione principali sia a livello teorico che pratico, benché sia di fatto la naturale e moderna evoluzione di una riflessione sul rapporto tra città e natura che affonda le sue radici nel passato. Il concetto di 'infrastruttura verde' suggerisce di riconoscere il ruolo necessario della natura in città al pari di strade e servizi di base e di progettare lo spazio dedicato al verde seguendo criteri funzionali come avviene per tutti gli altri sistemi infrastrutturali (Scalisi and Ness, 2022). Nello specifico la funzionalità legata alla presenza della natura è quantificabile in termini di benefici ecosistemici e i criteri che ne guidano la progettazione e la pianificazione includono la connettività, la multifunzionalità e la multiscalarità (Pauleit et alii, 2017).

Il problematico rapporto tra città e natura si acuisce ulteriormente laddove l'espansione urbana è avvenuta in assenza di chiare linee guide urbanistiche, a ritmi particolarmente sostenuti e spesso seguendo trame informali che difficilmente riescono a garantire un buon equilibrio tra l'avanzare dell'antropizzazione e la conservazione delle risorse naturali (Haaland and van den Bosch, 2015; Hansen et alii, 2019; Russo and Cirella, 2018).

Nei Paesi ALC il tema dello sviluppo urbano sostenibile si fa ancora più pressante, considerando che la crescita di popolazione urbana si stima raggiungerà il 90% entro il 2050 (United Na-

tions, 2022) e che si assiste a processi di 'iperurbanizzazione' (da Cunha and Rodríguez Vignoli, 2009). Questo porta ad accentuati fenomeni di isola di calore ed elevati livelli di inquinamento dell'aria, nonostante le emissioni pro-capite siano mediamente basse se comparate con quelle dei Paesi più industrializzati. Di contro la disponibilità di spazi verdi è sempre più inadeguata a sostenere la crescita di popolazione (de Mola et alii, 2017) e l'inclusione sistematica dei concetti di infrastruttura verde e benefici ecosistemici nei sistemi di pianificazione è ancora limitata, anche a causa della generale instabilità politica della regione, che ostacola la pianificazione a lungo termine e la continuità delle iniziative (Dobbs et alii, 2019; Flores et alii, 2022).

Per completare il quadro occorre però sottolineare come i temi finora discussi stiano iniziando ad assumere un ruolo progressivamente crescente nel dibattito pubblico, nelle Istituzioni di ricerca e nelle Agende politiche dei Paesi ALC. Lo United Nations Environmental Programme¹ ha riconosciuto il crescente sforzo delle Università per includere tematiche ambientali non solo nei curricula, ma anche nella gestione pratica dei luoghi dell'istruzione (Sáenz, 2024). Parallelamente Istituzioni trans-nazionali come l'Inter-American Development Bank, con il suo Programma per Città Emergenti e Sostenibili², sono attive da anni nello studio delle specificità sociali, economiche e politiche dell'area e nella definizione di metodi e linee guida per promuovere processi urbani sostenibili (IDB, 2016).

Tuttavia si riscontra ancora un notevole divario tra sforzo teorico e metodologico e l'impatto concreto in termini di governance e progetti realizzati. Tra i pochi esempi di approcci organici per la reintegrazione di componenti naturali nell'ambiente urbano occorre certamente citare il caso di Santiago del Cile, che offre un riferimento tangibile di Programma di infrastruttura verde per superare la frammentarietà dell'offerta attuale e da cui emerge in maniera significativa la rilevanza della gestione sostenibile degli spazi verdi di piccole e medie dimensioni (Banzhaf, Reyes-Paecke and de la Barrera, 2018; Banzhaf, de la Barrera and Reyes-Paecke, 2019; Vásquez et alii, 2016).

Obiettivi, metodologia e fasi della ricerca | Considerando l'urgenza dell'attuazione pratica di misure di adattamento degli ambienti urbani, la ricerca che il presente contributo illustra ha l'obiettivo di sviluppare uno strumento di supporto al processo progettuale per interventi a piccola scala. Questo obiettivo risponde alla necessità, chiaramente sottolineata dal Report dell'Inter-American Development Bank (IDB, 2016), di rendere l'impatto e il successo dei progetti di NbS chiaramente misurabile e quantificabile, non solo per evidenziarne i benefici, ma anche per avere strumenti oggettivi a supporto della programmazione pubblica e privata. Inoltre occorre considerare che la realizzazione effettiva dei progetti dipende da una programmazione realistica di tempi e costi, per cui interventi di piccola entità appaiono più facilmente sostenibili per Amministrazioni con un orizzonte temporale di azione di 4-5 anni.

Le radici teoriche di questo studio affondano primariamente nella letteratura scientifica sulle infrastrutture verdi urbane, per ribilanciare le componenti verdi e grigie in sistemi urbani complessi

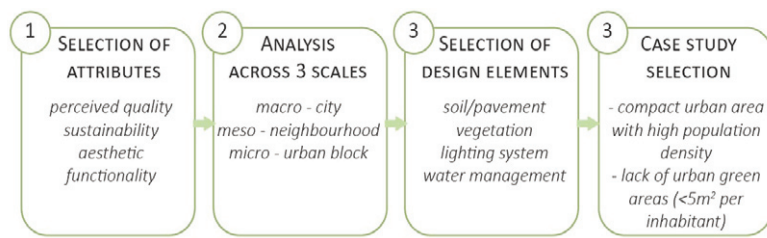


Fig. 1 | Four-step methodological process (credit: the Authors, 2024).

Tab 1 | Attribute-design element correlation matrix (credit: the Authors, 2024)

Next page

Fig. 2, 3 | Analysis of the Candelaria neighbourhood; Diagram of nodes and identification of potential areas of intervention at the micro-scale (credits: the Authors, 2024).

		Sustainability	Aesthetic	Functionality	Weights	Overall quality
Design Components		0.35	0.30	0.35		
1. Pavements	1a circulation			0.25	0.0875	
	1b albedo	0.2			0.07	0.2275
	1c permeability	0.2			0.07	
2. Vegetation	2a variety in heights and size		0.25	0.25	0.1625	
	2b sensoriality		0.25		0.075	0.3075
	2c climate resistance	0.2			0.07	
3. Illumination	3a distribution and orientation			0.25	0.0875	
	3b renewable energy	0.2			0.07	0.2325
	3c compatibility		0.25		0.075	
4. Water	4a circular management	0.2			0.07	
	4b sensoriality		0.25		0.075	0.2325
	4c drinkable water			0.25	0.0875	
		1	1	1	1	1

(Bartesaghi Koc et alii, 2017; Young et alii, 2014) e per contribuire alla regolazione del microclima (Bartesaghi Koc et alii, 2016; Clemente et alii, 2022; Lizana et alii, 2022). In aggiunta ai principi della pianificazione verde sono stati presi a riferimento alcuni approcci agli studi urbani come la teoria della rete urbana ("urban web") di Salinas, che concepisce la città come sistema di reti interconnesse, riconducibili a tre elementi strutturali: nodi, connessioni e gerarchia (Salinas, 1998, 2005).

Lo studio del rapporto tra queste componenti è stato occasione per trovare margini di trasformabilità per migliorare l'integrazione delle reti verdi nel sistema urbano. Infine uno sforzo di ricerca aggiuntivo è stato dedicato a una comprensione più approfondita dello stato di fatto nei Paesi ALC, per contribuire a colmare il divario in termini di quantità di ricerca sperimentale che divide i Paesi del Nord e Sud del mondo (Ozment et alii, 2021).

Alla luce della cornice teorica di riferimento, dunque, l'obiettivo della ricerca è stato specificato nella definizione di uno strumento versatile per individuare le aree a piccola scala all'interno di ambienti urbani densi che hanno il potenziale per servire come nodi integrali dell'infrastruttura verde urbana. Lo studio si compone di quattro fasi: i) selezione degli attributi; ii) analisi su tre scale; iii) selezione degli elementi progettuali; iv) validazione nel caso di studio (Fig. 1).

Più nello specifico, la prima fase riguarda la valutazione della qualità complessiva degli spazi urbani attraverso tre attributi, ovvero la sostenibilità, l'estetica e la funzionalità / inclusività. La scelta

degli attributi è allineata alla direzione tracciata dal Programma del New European Bauhaus (European Commission, 2023); successivamente l'analisi del contesto viene svolta passando dalla scala macroscopica al dettaglio dell'area d'intervento. La macro-scala si estende all'intero paesaggio urbano e comprende la valutazione dei modelli di distribuzione delle infrastrutture verdi e delle traiettorie di espansione urbana. La meso-scala, con riferimento alla teoria della rete urbana, si focalizza a livello di quartiere sulle aree a maggiore carenza di verde e si concentra sull'identificazione di nodi e connessioni. Infine alla microscala si definisce un focus spaziale per potenziali interventi di NbS e si procede alla classificazione delle aree identificate con lo scopo di evidenziare le maggiori criticità e orientare la priorità d'intervento.

Proseguendo con la terza fase della metodologia proposta, la selezione di quattro elementi progettuali (pavimentazione, vegetazione, illuminazione e acqua) consente di definire una matrice di correlazione tra questi elementi e gli attributi definiti nella prima fase. In Tabella 1 si esplicano le relazioni tra attributi e componenti di progetto, che risultano in un valore unitario associato alla qualità complessiva, ottenuto dal prodotto tra il peso relativo associato a ciascun attributo e il contributo di ciascun elemento di progetto rispetto ai diversi attributi. Infine l'applicazione al caso di studio permette di testare e validare il metodo proposto.

Il caso studio di Bogotá | La selezione del caso

di studio ha dato priorità a grandi aree urbane con limitate infrastrutture verdi nelle aree a maggiore densità e a città ad alta densità di popolazione. Tra i Paesi ALC, la Colombia e la regione di Bogotá rappresentano un caso studio esemplare per la presenza di alcuni elementi interessanti, come l'adozione di politiche ambientali abbastanza avanzate rispetto ad altri Paesi dell'area, ma anche la persistenza di enormi problemi, tra cui un valore medio di 4,6 mq di spazio pubblico effettivo per abitante e di 11,48 mq di spazio pubblico verde per abitante (DADEP, 2022), ma con valori estremamente inferiori nella maggior parte dei quartieri centrali.

Bogotá, una metropoli in espansione che si sviluppa su un'area di 1.776 kmq e con una popolazione di oltre 11,5 milioni di abitanti, è la quinta città più popolosa tra i Paesi ALC³. L'analisi su tre scale ha permesso di raggiungere una buona conoscenza del contesto di riferimento fino a delineare le aree potenzialmente suscettibili di intervento sperimentale (Food and Land Use Coalition, 2023).

Il nucleo storico di impianto coloniale segue una griglia urbana di matrice spagnola, con un sistema costruito denso, pochi spazi pubblici aperti e gli unici spazi verdi all'interno dei cortili (Mejía Pavony, 2000). Le successive aree di espansione urbana riflettono invece l'evolversi degli approcci alla pianificazione tra il XIX e XX secolo e comprendono anche l'introduzione di spazi verdi come parchi urbani (il Parco del Centenario fu il primo realizzato nel 1910) e spazi verdi lineari (a partire dal 1930 con Brunner e poi con Le Corbusier). Fino agli



anni '90 i Piani teorici per le nuove aree urbane trovano sempre una realizzazione parziale a causa della instabilità politica e della frammentazione sociale, esacerbata dalla rapidità di crescita della popolazione (Andrade et alii, 2013).

Verso la fine del secolo, anche grazie alla spinta di importanti decisioni internazionali come la Convenzione di Rio delle Nazioni Unite del 1992, le Amministrazioni locali iniziano a dotarsi di strumenti di pianificazione specifici per far fronte al degrado ambientale dei contesti urbani. La Città di Bogotá adotta per la prima volta nel 2000 il Piano di Utilizzo del Territorio (POT – Plan de Ordenamiento Territorial), che integra il concetto di Struttura Principale Ecologica (EMS – Estructura Ecológica Principal). Questi strumenti hanno contribuito a tutelare alcune aree dall'espansione urbana incontrollata e in parte ad aumentare la quota di verde urbano, ma, come evidenziato anche da Dobbs et alii (2023) in riferimento all'area ALC in generale, 'non ha assicurato una migliore distribuzione del verde e dei suoi benefici'.

I dati riportati dall'Osservatorio dello Spazio Pubblico di Bogotá (DADEP) evidenziano in particolare come il centro storico, noto come quartiere della Candelaria, risulti una delle aree con minore accessibilità al verde con un indice di 3,08 mq di spazio pubblico verde per abitante.

L'analisi a livello di quartiere si è dunque focalizzata sul nucleo storico della Candelaria, dove gli spazi pubblici verdi si trovano per lo più all'interno degli isolati, nei cortili ('patios') tipici dell'architettura coloniale. Questi cortili, oltre a un profondo signifi-

ficato sociale e culturale, hanno un ruolo funzionale nel fornire luce naturale e si prestano ad essere ambiti ottimali per il miglioramento del microclima locale (Diz-Mellado et alii, 2023; Ernest and Ford, 2012; Pelorosso, Gobattoni and Leone, 2017). Tuttavia persistono problemi di connettività tra gli spazi verdi esistenti, che ne limitano l'accessibilità e l'utilizzo; di conseguenza le attuali condizioni di fruibilità risultano inadeguate a sostenere il notevole flusso di popolazione nelle ore diurne.

Lo studio della Candelaria ha incluso anche un'analisi delle destinazioni d'uso, che ha evidenziato la presenza di diversi edifici pubblici d'interesse culturale e ha sottolineato l'importanza di stabilire connessioni tra i nodi di attività e la rete primaria di percorsi (Fig. 2): l'analisi rivela che le zone più frequentate mancano di spazi verdi e che, tra le aree potenzialmente migliorabili, ricoprono un ruolo chiave gli spazi aperti semipubblici, come i cortili di musei e biblioteche. Questo risultato contribuisce utilmente a specificare le intenzioni emerse dal programma del Nuovo Contratto Sociale e Ambientale per la Bogotá del XXI secolo siglato nel 2020⁴, che esprime obiettivi ambiziosi per aumentare l'offerta di verde pubblico, e a integrare la strategia attualmente adottata dall'Amministrazione locale, che ha dato priorità alla creazione di corridoi verdi ritenuti strumentali al rafforzamento della rete di infrastrutture verdi della città.⁵

Sono stati selezionati sei cortili interni rispettivamente di pertinenza della Biblioteca Luis Angel Arango, del Museo Botero, del Museo Militare, del Museo Coloniale, della Libreria del Congresso e del

Museo Archeologico (Fig. 3): a questa scala è stato possibile effettuare delle simulazioni del microclima a diverse ore del giorno, utilizzando il software Envi-met. L'analisi prende in considerazione vari parametri, tra cui la temperatura media radiante, la temperatura potenziale dell'aria e la temperatura superficiale, i quali hanno evidenziato che il raggiungimento di picchi di calore significativi risulta peggiore nei cortili con completa assenza di vegetazione.

Piccoli interventi ad alto impatto | Facendo riferimento alle osservazioni sul caso di Bogotá e alla matrice di correlazione tra attributi ed elementi di progetto, nell'ultima fase della ricerca è stata sviluppata una nuova matrice con la medesima impostazione, ma con una funzione orientativa delle azioni progettuali. Questo strumento risulta un utile supporto per un approccio strategico basato su interventi in spazi di piccole dimensioni, come i cortili interni identificati nel caso studio. La strategia è orientata nello specifico su spazi a gestione pubblica o semi-pubblica, in quanto questa risulta ad oggi la principale forma di governance degli spazi verdi urbani in tutto il contesto ALC (Sainz-Santamaria and Martinez-Cruz, 2022). Lo scopo ultimo della strategia proposta consiste nell'ottimizzare il processo di analisi e di scelta progettuale, per contenere e ottimizzare gli interventi e al tempo stesso garantire un miglioramento della percezione degli spazi oggetto d'intervento in termini di comfort, senso di sicurezza, inclusione e senso di appartenenza.

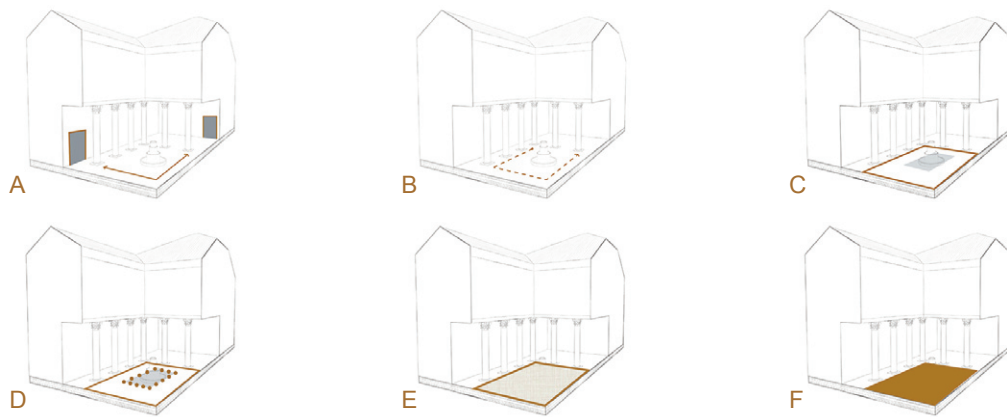


Fig. 4 | The strategic toolkit – Paving actions: A) guarantee the connection with the main access; B) guarantee the circulation on the perimeter only; C) permeable pavements rate ranging between 20-30%; D) redirect rainwater downspouts to permeable or vegetated; E) selection of material that does not interfere with the accessibility and usability by any kind of user; F) selection of colour compatibility with the architectural space (credit: the Authors, 2024).

Tab. 2 | Impact assessment matrix of possible project actions (credit: the Authors, 2024).

		Actions	key elements correspondance	IMPACT		
				Sustainability	Aesthetic	Functionality
1. Pavements	A	guarantee the connection with the main accesses	1a	0	L	H
	B	guarantee the circulation without counting on the perimeter only	1a	0	H	M
	C	permeable pavements rate ranging between 20-30%	1c	H	0	M
	D	redirect rainwater downspouts to permeable surfaces	1c	M	L	H
	E	selection of materials that does not interfere with the accessibility and usability by any kind of user	1a	0	0	H
	F	selection of color compatibility with the architectural space	1b	0	H	0
2. Vegetation	G	differentiate the vegetation types and heights	2a	H	M	H
	H	preference for autoctonous species or other species from similar climatic zones	2c	H	0	H
	I	positioning vegetation for shading in the areas with highest solar exposure	2b	M	0	H
3. Illumination	J	positioning of the lighting to highlight the path	3a	0	M	H
	K	valorise vegetation with lighting	3c	0	M	0
	L	integrate lighting in furniture with autonomous energy supply	3b	H	L	H
4. Water	M	preservation of historical water fountains	4b	0	H	M
	N	rainwater harvesting system	4a	H	0	M
	O	include dynamic water features	4b	0	H	M
	P	include hydration points for users	4c	0	L	H
	Q	redirect rainwater downspouts to vegetated surfaces and raingardens	4a	H	0	M

La struttura di base della matrice è data anche in questo caso dall'intersezione tra i tre attributi con i quattro elementi fondamentali di progettazione (Tab. 2). Rispetto a ciascun elemento vengono indicate alcune possibili modalità d'intervento, di cui si fornisce una valutazione qualitativa d'impatto rispetto ai tre attributi (dove 0 indica nessun impatto; L 'low', ridotto impatto; M 'medium', medio impatto e H 'high', alto impatto). La matrice risultante serve da punto di riferimento per facilitare un approccio più sistematico e guidato

dai dati alla pianificazione degli interventi. Di seguito si presentano le azioni proposte nel dettaglio. Il primo elemento progettuale, cioè la pavimentazione, ha particolare rilevanza perché impatta su fruibilità e inclusività dello spazio e anche su comfort in base alle proprietà dei materiali utilizzati. Si propongono sei possibili azioni (Fig. 4): i) collegamento con gli accessi principali per agevolare i flussi di movimento; ii) sistema di circolazione non basato sul corridoio periferico; iii) bilanciamento di pavimentazioni permeabili e non-permeabili,

con una quota di superficie naturale filtrante pari al 20-30%; iv) disconnessione e riorientamento dei pluviali per convogliare le acque piovane nelle aree di superficie naturale filtrante; v) pavimentazioni inclusive, attraverso la scelta di materiali non ostacolanti la fruizione da parte di utenti con disabilità; vi) compatibilità storica, laddove vi sia un carattere riconoscibile del contesto, attraverso la scelta di materiali in continuità con le caratteristiche esistenti.

La vegetazione rappresenta a sua volta uno

degli elementi essenziali per il comfort nello spazio aperto e la mitigazione del microclima. Per questo secondo elemento si suggerisce di integrare tre diversi livelli di vegetazione (piante erbacee, arbusti, piante a basso-medio fusto), assegnando a ciascun livello una funzione all'interno dello spazio. Nello specifico per la copertura del suolo occorre selezionare specie botaniche a crescita rapida, con una buona capacità di occupazione dello spazio; il livello medio include specie selezionate con lo scopo di delimitare gli spazi; infine l'inserimento di piante di media grandezza è funzionale all'ombreggiamento dello spazio aperto, ma deve essere attentamente valutato in funzione delle caratteristiche dello spazio.

Si suggerisce inoltre di preferire specie autoctone o originarie di aree climatiche simili, così da favorire l'adattamento al contesto climatico locale e limitare le necessità di manutenzione: per il caso di Bogotá è stato prodotto un elenco di piante, selezionate in maniera coerente con le indicazioni fornite dalla Municipalità e in funzione della loro adeguatezza per spazi di piccole dimensioni (Fig. 5).

Il terzo elemento di progettazione è rappresentato dall'illuminazione. Nello spazio pubblico o semipubblico essa assolve una funzione sia estetica sia funzionale, in quanto garantisce una corretta visibilità e veicola la percezione di sicurezza. Per una corretta progettazione di questo elemento si suggeriscono tre azioni (Fig. 6): i) differenziare l'illuminazione artificiale per zone di circolazione e di sosta; ii) optare per soluzioni integrate di arredo e sistemi illuminanti con capacità di alimentazione energetica autonoma; iii) integrare l'illuminazione d'accento nelle aree vegetate.

Infine per quanto concerne la gestione dell'acqua occorre tenere presente i principi di gestione sostenibile e promuovere l'innescò di processi circolari per bilanciare la domanda d'acqua per uso diretto o per irrigazione con le esigenze di drenaggio (Fig. 7). A tal proposito si propone di integrare sistemi di raccolta delle acque meteoriche e di riutilizzo della stessa per l'irrigazione delle aree verdi, in modo da limitare l'aumento del volume d'acqua associato al mantenimento della vegetazione. Si suggerisce inoltre di sfruttare l'acqua come elemento sensoriale, di conservare, laddove presenti, le fontane storiche dei cortili coloniali per il loro valore storico-artistico e di integrare, qualora assenti o insufficienti, nuovi punti di idratazione per gli utenti.

Conclusioni | La matrice proposta è stata testata e validata nel caso studio del quartiere della Candelaria a Bogotá attraverso il confronto tra la valutazione della situazione attuale dei sei cortili selezionati, l'individuazione di opportune azioni progettuali per ciascun caso e la simulazione dell'impatto di tali azioni.

Si riporta ad esempio il caso del cortile del Museo Militare (Fig. 8), in cui si riscontra la totale assenza di vegetazione, l'insufficienza di elementi di illuminazione e l'assenza di soluzioni per la gestione dell'acqua. Ipotizzando di attuarvi alcune delle azioni riportate in Tabella 2, in particolare attraverso l'inserimento di vegetazione di media altezza, il ripensamento dei percorsi e l'inserimento di apparecchi illuminanti, è possibile produrre una notevole trasformazione dello spazio (Figg. 9-10). Il confronto tra prima e dopo è reso più evidente dall'utilizzo della matrice di correlazione tra attributi ed

elementi di progetto per calcolare un punteggio di qualità complessivo, sia rispetto alla situazione attuale sia per la simulazione progettuale.

Il calcolo si effettua attribuendo una valutazione qualitativa a ciascuna componente progettuale con riferimento allo stato corrente e traducendola poi in un valore numerico (assente – 0; scarso – 0,2; medio – 0,6; buono – 0,8). Il punteggio di qualità complessiva, che varia tra 0 e 1, si calcola, per lo stato attuale, come sommatoria dei prodotti tra i voti e il peso relativo di ciascun elemento progettuale. Per il calcolo dello stato di progetto, al voto dello stato attuale si somma l'incremento dovuto alle azioni progettuali applicate. Per il cortile del Museo Militare si ottiene un punteggio della situazione corrente è pari a 0,21, mentre la simulazione progettuale raggiunge il voto di 0,69 (Tab. 3); l'impatto delle azioni ipotizzate è ulteriormente confermato dalla simulazione microclimatica (Fig. 11).

Il presente studio si inserisce nel crescente filone di ricerca sulle infrastrutture verdi e NbS, con lo scopo critico di contribuire a un ribilanciamento geografico della produzione scientifica a favore dei Paesi attualmente trascurati, ma cruciali nella sfida globale della sostenibilità, come ALC (Flores et alii, 2022). La proposta inoltre ha origine dall'evidente distacco tra produzione teorica e applicazioni pratiche di NbS e dal riscontro delle difficoltà degli Uffici di pianificazione di integrare le prescrizioni della ricerca in un Programma attuativo (Frantzeskaki, 2019; Hansen et alii, 2019).

L'elaborazione di una matrice di supporto alla valutazione preliminare delle aree d'intervento e alla programmazione di possibili interventi di NbS rappresenta un contributo pratico al processo di integrazione del concetto di infrastruttura verde nei sistemi di pianificazione urbana. La matrice di valutazione basata su tre attributi e quattro elementi progettuali è uno strumento altamente flessibile e adattabile all'analisi di diversi spazi urbani a piccola scala.

Nel caso di studio presentato l'applicazione dell'analisi su tre scale ha portato alla focalizzazione della proposta sui cortili pubblici di Istituzioni culturali, in continuità con la storia urbana di Bogotá ed enfatizzando il valore sociale e funzionale dei 'patios' all'interno della matrice compatta del quartiere storico della Candelaria. La scala ridotta degli interventi proposti da un lato è una strategia per offrire alle Amministrazioni locali delle soluzioni facilmente e rapidamente attuabili, dall'altro costituisce una possibile limitazione rispetto all'efficacia di una infrastruttura verde urbana a più ampia scala. I singoli interventi, valutabili e quantificabili con l'utilizzo della matrice proposta hanno indubbiamente un impatto a livello locale, ma perdono di rilevanza alla scala urbana, a meno che non siano parte integrante di un più ampio pensiero di pianificazione.

In conclusione, con riferimento al contesto geografico analizzato e al caso di studio, si può affermare che l'integrazione sistemica delle NbS nei Programmi di trasformazione urbana passa in primo luogo dalla trasformazione di spazi pubblici e che gli interventi a piccola e media scala rivestono un ruolo strategico non trascurabile. Lo sviluppo di programmi adeguati a ciascun contesto urbano deve necessariamente basarsi su una comprensione approfondita dello stesso e possibilmente valorizzarne le caratteristiche storiche, attuando

un approccio di innovazione in dialogo con la matrice sociale e culturale del luogo, con lo scopo ultimo di garantire una trasformazione realmente sostenibile dell'ambiente urbano.

The sustainability imperative has become increasingly pressing in recent decades, especially with the approaching deadlines for reversing trends in climate-altering emissions production, growth trends and resource consumption patterns (IPCC, 2022, 2023). When one considers that globally, cities are responsible for about 75% of carbon dioxide emissions, although they occupy only 1-3% of the earth's surface, and that urbanised population growth will reach 68% by 2050 (United Nations, 2022), one can see how urban environments are a crucial area of transformation for achieving sustainability goals. Consequently, research on the integration of green infrastructure and Nature-based Solutions (NbS) in urban contexts is steadily growing, and increasingly, theoretical research is reinforced by empirical evidence and best practices (Andersson et alii, 2014; Frantzeskaki, 2019; Ingaramo and Stepanovic, 2021).

However, there is a strong imbalance in the geographical distribution of theoretical and practical research on NbS, with a strong skew toward the global North (United States and Europe) and a decidedly marginal role for the rest of the world (Flores et alii, 2022; Mercado et alii, 2024). This imbalance is reflected in a lack of research applied to urban contexts in developing countries, a paucity of concrete experiences to take as examples, and a substantial exclusion of precisely those urban settings that are currently experiencing the greatest growth (Dobbs et alii, 2019).

Latin America and the Caribbean (LAC), in particular, are a critical area for global sustainability goals given that they are home to 50% of global biodiversity: they are one of the most urbanised areas in the world and have one of the highest estimated urban population growth rates for the coming years (IDB, 2020), but the peculiarities of the urban patterns and administrative characteristics of these countries are excluded from the most advanced studies.

With this in mind, this research develops a tool to support the design process for integrating small-scale green solutions in established areas of the urban fabric for microclimate mitigation and biodiversity enhancement, with specific reference to the South American context. The originality of the contribution lies in the combination of qualitative and quantitative considerations and the integration of traditional methods of analysis, such as the study of the historical evolution of the urban context, with others of more recent development, such as microclimate simulations. These components converge within a matrix to support the construction of design strategies for integrating NbS in small spaces, such as urban courtyards and other smaller spaces. It is a flexible tool replicable in different contexts and aimed at ensuring a good balance between the needs for preservation and enhancement of historical identity and the needs for adaptation and mitigation.

The research work starts with the state-of-the-art framework, illustrated in the following section, in which the advancement of the debate on the relationship between the city and nature is presented,



Fig. 5 | Strategic toolkit – Actions for vegetation: G) differentiate the vegetation types and heights; H) preference for the autochthonous species or other species from similar climatic zones; I) positioning vegetation for sharing in the areas with the highest solar exposure (credit: the Authors, 2024).

and the apparent conflict between the tension of innovation, conservation and sustainability is discussed. Next, the primary theoretical references and the four-step methodological approach are presented; in the fourth section, the case study of Bogota is presented, applying the three phases of analysis set forth in the methodology; then the matrix supporting the design process is illustrated; and finally, in the last section, the results obtained are critically discussed.

Innovation and continuity between city and nature

| The settlement of the human species in the natural context has always resulted in its transformation to derive benefits, resources and opportunities from it. As data from the World Urbanization Prospects (United Nations, 2022) highlights, the urban structure currently represents the most widespread form of human settlement and is most likely to grow. The expansion of cities causes irreversible modification of the natural environment through massive infrastructuring, extensive sealing of soils and concentration of people and functions in small spaces.

Such an approach of contemporary cities opens a clear conflict with the criteria of long-term sustainability and highlights the need to restore a balance between the functioning mechanisms of nature and our settlement patterns. In this sense, the challenge of sustainability is played out in the tension between a return to a now compromised equilibrium situation and the propulsive thrust of innovation and growth. These aspects, however, should not be understood as conflicting, but instead as collaborating.

The advanced degradation of the natural environment requires, in a sense, going back, depaving, and freeing up space to reintroduce natural components, but how this is done requires the maximum effort of technological innovation and creativity on the part of the scientific community

and the actors acting in urban contexts (Delgado-Capel and Cariñanos, 2020).

In this context, research on green infrastructure and NbS represents one of the main areas of innovation both theoretically and practically, although it is, in fact, the natural and modern evolution of a reflection on the relationship between cities and nature that has its roots in the past. The concept of ‘green infrastructure’ suggests recognising the necessary role of nature in the city on a par with roads and basic services and designing space dedicated to green following functional criteria as is the case for all other infrastructure systems (Scalisi and Ness, 2022). Specifically, the functionality associated with the presence of nature is quantifiable in terms of ecosystem benefits, and the criteria guiding its design and planning include connectivity, multifunctionality, and multi-scalarity (Pauleit et alii, 2017).

The problematic relationship between city and nature is further exacerbated where urban expansion has taken place in the absence of clear urban planning guidelines, at a particularly fast pace and often following informal plots that are unlikely to ensure a good balance between advancing anthropisation and the conservation of natural resources (Haaland and van den Bosch, 2015; Hansen et alii, 2019; Russo and Cirella, 2018).

In LAC countries, the issue of sustainable urban development becomes even more pressing, considering that urban population growth is estimated to reach 90% by 2050 (United Nations, 2022) and we are witnessing processes of ‘hyper-urbanization’ (da Cunha and Rodríguez Vignoli, 2009). This leads to accentuated heat island phenomena and high levels of air pollution, even though per capita emissions are low on average compared to those of more industrialised countries. In contrast, the availability of green space is increasingly inadequate to support population growth (de Mola et alii, 2017), and the systematic

inclusion of the concepts of green infrastructure and ecosystem benefits in planning systems is still substantially limited, partly due to the general political instability in the region, which hinders long-term planning and continuity of initiatives (Dobbs et alii, 2019; Flores et alii, 2022).

To complete the picture, however, it is necessary to emphasise how the issues discussed so far are beginning to take on a progressively increasing role in public debate, research Institutions, and the Political Agendas of LAC countries. The United Nations Environmental Programme¹ recognised the growing effort of universities to include environmental issues not only in curricula but also in the practical management of educational venues (Sáenz, 2024). In parallel, trans-national Institutions such as the Inter-American Development Bank, with its Program for Emerging and Sustainable Cities², have been active for years in studying the social, economic and political specificities of the area and defining methods and guidelines to promote sustainable urban processes (IDB, 2016).

However, there is still a significant gap between theoretical and methodological effort and concrete impact in terms of governance and implemented projects. Among the few examples of organic approaches to the reintegration of natural components into the urban environment, it is certainly worth mentioning the case of Santiago, Chile, which offers a tangible reference of the Green Infrastructure Programme to overcome the fragmented nature of the current offer and from which the relevance of the sustainable management of small and medium-sized green spaces emerges significantly (Banzhaf, Reyes-Paecke and de la Barrera, 2018; Banzhaf, de la Barrera and Reyes-Paecke, 2019; Vásquez et alii, 2016).

Research objectives, methodology, and stages

| Considering the urgency of practical implementation of adaptation measures in urban environments, the research that this paper presents aims to develop a tool to support the design process for small-scale interventions. This objective responds to the need, clearly emphasised by the Inter-American Development Bank Report (IDB, 2016), to make the impact and success of NbS projects clearly measurable and quantifiable, not only to highlight their benefits, but also to have objective tools to support public and private planning. In addition, it should be considered that the actual implementation of projects depends on realistic scheduling of time and costs, so small-scale interventions appear more easily sustainable for Administrations with an action time horizon of 4-5 years.

The theoretical roots of this study lie primarily in the scientific literature on urban green infrastructure to rebalance green and grey components in complex urban systems (Bartasaghi Koc et alii, 2017; Young et alii, 2014) and to contribute to microclimate regulation (Bartasaghi Koc et alii, 2016; Clemente et alii, 2022; Lizana et alii, 2022). In addition to the principles of green planning, some approaches to urban studies have been referenced, such as Salingaros’ urban network theory (‘urban web’), which conceives of the city as a system of interconnected networks that can be traced to three structural elements: nodes, connections and hierarchy (Salingaros, 1998, 2005).

The study of the relationship between these components was an opportunity to find margins of

transformability to improve the integration of green networks into the urban system. Finally, an additional research effort has been devoted to a deeper understanding of the state of affairs in LAC countries to help bridge the gap in the amount of experimental research that divides countries in the North and South (Ozment et alii, 2021).

In light of the theoretical framework, therefore, the research objective was specified in defining a versatile tool to identify small-scale areas within dense urban environments that have the potential to serve as integral nodes of urban green infrastructure. The study consists of four phases: i) selection of attributes; ii) analysis at three scales; iii) selection of design elements; and iv) validation in the case study (Fig. 1).

More specifically, the first stage concerns the assessment of the overall quality of urban spaces through three attributes, namely sustainability, aesthetics, and functionality / inclusiveness. The choice of attributes is aligned with the direction outlined by the New European Bauhaus Programme (European Commission, 2023); subsequently, the context analysis is carried out by moving from the macro-scale to the detail of the intervention area. The macro-scale extends to the entire urban landscape and includes assessing green infrastructure distribution patterns and urban expansion trajectories. The meso-scale, with reference to urban network theory, focuses at the neighbourhood level on areas with the greatest lack of green and on identifying nodes and connections. Finally, at the micro-scale, a spatial focus is defined for potential NbS interventions and the identified areas are ranked to highlight major critical issues and prioritise intervention.

Continuing with the third phase of the proposed methodology, the selection of four design elements (pavement, vegetation, lighting, and water) allows the definition of a correlation matrix between these elements and the attributes defined in the first phase. In Table 1, the relationships between attributes and design components are made explicit, resulting in a unit value associated with the overall quality obtained from the product between the relative weight associated with each attribute and the contribution of each design element to the different qualities. Finally, application to the case study allows the proposed method to be tested and validated.

The Bogotá case study | The case study selection prioritised large urban areas with limited green infrastructure in higher-density areas and cities with high population density. Among the LAC countries, Colombia and the Bogotá region represent an exemplary case study because of the presence of some interesting elements, such as the adoption of fairly advanced environmental policies compared to other countries in the area, but also the persistence of enormous problems, including an average value of 4.6 sqm of effective public space per inhabitant and 11.48 sqm of public green space per inhabitant (DADEP, 2022), but with significantly lower values in most central districts.

Bogotá is an expanding metropolis covering an area of 1,776 square kilometres with a population of over 11.5 million, making it the fifth most populous city among LAC countries³. The three-scale analysis has achieved a good understanding of the context of reference to the point of outlining poten-

tial areas susceptible to experimental intervention (Food and Land Use Coalition, 2023).

The historic core of the colonial layout follows a Spanish-style urban grid, with a densely built system, few public open spaces, and the only green spaces within courtyards (Mejía Pavony, 2000). Subsequent areas of urban sprawl, on the other hand, reflect evolving approaches to planning between the 19th and 20th centuries and also include the introduction of green spaces such as urban parks (Centenary Park was the first implemented in 1910) and linear green spaces (starting in 1930 with Brunner and then Le Corbusier). Until the 1990s, theoretical Plans for new urban areas always found partial implementation due to political instability and social fragmentation, exacerbated by rapid population growth (Andrade et alii, 2013).

Toward the end of the century, partly due to the impetus of major international decisions such as the 1992 United Nations Rio Convention, local governments began to equip themselves with specific planning tools to address environmental degradation in urban settings. The City of Bogotá first adopted the Land Use Plan (POT – Plan de Ordenamiento Territorial) in 2000, incorporating the concept of Ecological Main Structure (EMS – Estructura Ecológica Principal). These tools have helped to protect some areas from uncontrolled urban sprawl and partly to increase the share of urban green, but, as also pointed out by Dobbs et alii (2023) in reference to the LAC area in general, ‘it has not ensured a better distribution of green and its benefits’.

Data reported by the Bogotá Public Space Observatory (DADEP) highlight in particular how the old town, known as the Candelaria neighbourhood, emerges as one of the areas with the least accessibility to green space, with an index of 3.08 sqm of public green space per inhabitant.

The neighbourhood-level analysis thus focused on the historic core of the Candelaria, where green public spaces are mostly found within the blocks, in courtyards (‘patios’) typical of colonial architec-

ture. These courtyards, in addition to their deep social and cultural significance, have a functional role in providing natural light and lend themselves to be optimal areas for improving the local microclimate (Diz-Mellado et alii, 2023; Ernest and Ford, 2012; Pelorosso, Gobattoni and Leone, 2017). However, connectivity problems persist among existing green spaces, limiting their accessibility and use; as a result, current conditions of usability are inadequate to support the significant population flow during daylight hours. The Candelaria study also included a land-use analysis, which highlighted the presence of several public buildings of cultural interest and emphasised the importance of establishing connections between activity nodes and the primary network of pathways (Fig. 2): the analysis reveals that the busiest areas lack green spaces and that, among the areas with potential for improvement, semi-public open spaces, such as the courtyards of museums and libraries, play a key role. This result usefully contributes to specifying the intentions that emerged from the Programme of the New Social and Environmental Contract for 21st Century Bogotá signed in 2020⁴, which expresses ambitious goals to increase the supply of public green space, and to complement the strategy currently adopted by the local government, which has prioritised the creation of green corridors deemed instrumental in strengthening the city’s green infrastructure network.⁵

Finally, six interior courtyards belonging to the Luis Angel Arango Library, the Botero Museum, the Military Museum, the Colonial Museum, the Library of Congress, and the Archaeological Museum, respectively, were selected (Fig. 3). At this scale, it was possible to carry out simulations of the microclimate at different times of the day using Envi-met software. The analysis considers various parameters, including mean radiant temperature, potential air temperature, and surface temperature, which showed that the achievement of significant heat peaks is worse in courtyards with complete absence of vegetation.

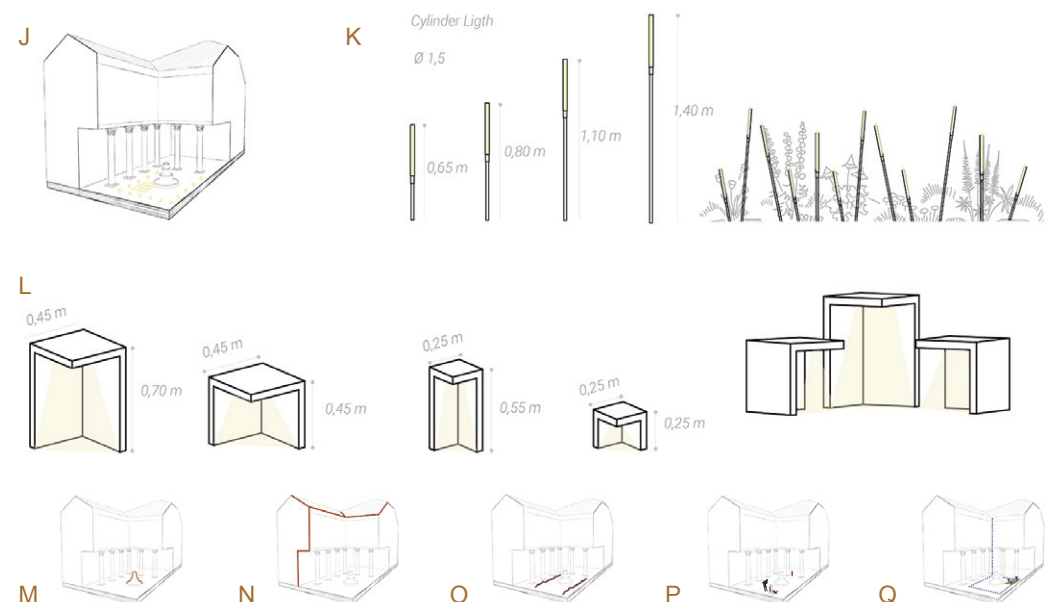


Fig. 6 | Strategic toolkit – Actions for lighting: J) positioning of the lighting to highlight the path; K) valorising vegetation with lighting; L) implementation of modular furniture with solar energy systems (credit: the Authors, 2024).

Fig. 7 | Strategic toolkit – Water Management Actions: M) preservation of historical water fountains; N) rainwater harvesting systems; O) dynamic water features; P) hydration point for users; Q) redirect rainwater for irrigation (credit: the Authors, 2024).

Design Components			absent	poor	fair	good	SCORE		score x weight	(score + impact) x weight	
1. Pavements	1a	circulation	0.0875		✓		0.6	A, B	1.1	0.05	0.15
	1b	albedo	0.07		✓		0.2			0.01	0.01
	1c	permeability	0.07		✓		0.2	C	0.6	0.01	0.06
2. Vegetation	2a	variety	0.1625	✓			0	G	1.0	0	0.16
	2b	sensoriality	0.075	✓			0			0	0
	2c	climate resistance	0.07	✓			0	H	0.8	0	0.06
3. Illumination	3a	distribution and orientation	0.0875		✓		0.6			0.05	0.05
	3b	renewable energy	0.07		✓		0.2	L	0.9	0.01	0.08
	3c	compatibility	0.075		✓		0.2	K	0.2	0.02	0.03
4. Water	4a	circular management	0.07		✓		0.2			0.01	0.01
	4b	sensoriality	0.075		✓		0.2	M	0.6	0.02	0.06
	4c	drinkable water	0.0875		✓		0.2			0.02	0.02
									0.21	0.69	

Tab 3 | Evaluation of the courtyard of the Military Museum before and after the project (credit: the Authors, 2024).

Small interventions with high impact | Referring to the observations on the Bogota case and the correlation matrix between attributes and design elements, a new matrix was developed in the last phase of the research with the same approach, but with an orientation function for design actions. This tool supports a strategic approach based on interventions in small spaces, such as the interior courtyards identified in the case study. The strategy is oriented specifically on publicly or semi-publicly managed spaces, as this appears to be the main form of governance of urban green spaces throughout the LAC context (Sainz-Santamaria and Martinez-Cruz, 2022). The ultimate goal of the proposed strategy is to optimise the process of analysis and design choice in order to contain optimise interventions and, at the same time, ensure an improvement in the perception of the spaces under intervention in terms of comfort, sense of safety, inclusion, and sense of belonging.

The basic structure of the matrix is again given by the intersection of the three attributes with the four basic design elements (Tab. 2). With respect to each element, a number of possible modes of intervention are indicated, of which a qualitative assessment of impact is given with respect to the three attributes (where 0 indicates no impact; L 'low', reduced impact; M 'medium', moderate impact; and H 'high', high impact). The resulting matrix serves as a reference point to facilitate a more systematic and data-driven approach to intervention planning. The proposed actions are presented in detail below.

The first design element, i.e., the pavement, is relevant because it impacts the space's usability, inclusiveness, and comfort based on the materials' properties. Six possible actions are proposed (Fig.

4): i) connection with main accesses to facilitate movement flows; ii) circulation system not based on the peripheral corridor; iii) balance of permeable and non-permeable pavements, with a 20-30% share of natural filtering surface; iv) disconnection and reorientation of rainwater downspouts to channel rainwater to areas of natural filtering surface; v) inclusive paving, through the choice of materials that do not hinder enjoyment by users with disabilities; vi) historical compatibility, where there is a recognisable character of the context, through the choice of materials in continuity with existing features.

Vegetation, in turn, represents one of the essential elements for comfort in open space and microclimate mitigation. For this second element, it is suggested that three different levels of vegetation (herbaceous plants, shrubs, and low-to-medium stem plants) be integrated, assigning each level a function within the space. Specifically, for ground cover, fast-growing botanical species with good space-occupying capacity should be selected; the medium level includes species chosen for delimiting spaces; and finally, the inclusion of medium-sized plants is functional for shading the open space, but should be carefully evaluated according to the characteristics of the space.

It is also suggested that native species or those from similar climatic areas be given preference to favour adaptation to the local climate and limit maintenance requirements. In the Bogota case, a list of plants was produced according to the indications provided by the Municipality and their suitability for small spaces (Fig. 5).

The third design element is lighting. In public or semi-public space, it serves both an aesthetic and functional purpose, as it ensures proper visibility

and conveys the perception of safety. Three actions are suggested for the proper design of this element (Fig. 6): i) differentiate artificial lighting by circulation and parking areas; ii) opt for integrated furniture solutions and lighting systems with autonomous energy supply capacity; and iii) integrate accent lighting in vegetated areas.

Finally, with regard to water management, sustainable management principles should be kept in mind and the triggering of circular processes to balance water demand for direct use or irrigation with drainage needs should be promoted (Fig. 7). In this regard, it is proposed to integrate systems to collect rainwater and reuse it for irrigation of green areas to limit the increase in water volume associated with vegetation maintenance. It is also suggested that water be harnessed as a sensory element, that historic fountains in colonial courtyards be preserved, where present, for their historical and artistic value, and that new hydration points for users be integrated where absent or insufficient.

Conclusions | The proposed matrix was tested and validated in the case study of the Candelaria neighbourhood in Bogotá by comparing the assessment of the current situation of the six selected courtyards, identifying appropriate design actions for each case, and simulating the impact of these actions.

The case of the courtyard of the Military Museum (Fig. 8) is given as an example, where there is a total absence of vegetation, insufficient lighting elements and no water management solutions. Assuming that some of the actions shown in Table 2 are implemented there, particularly through the inclusion of medium-height vegetation, the rethinking of pathways and the insertion of lighting fix-

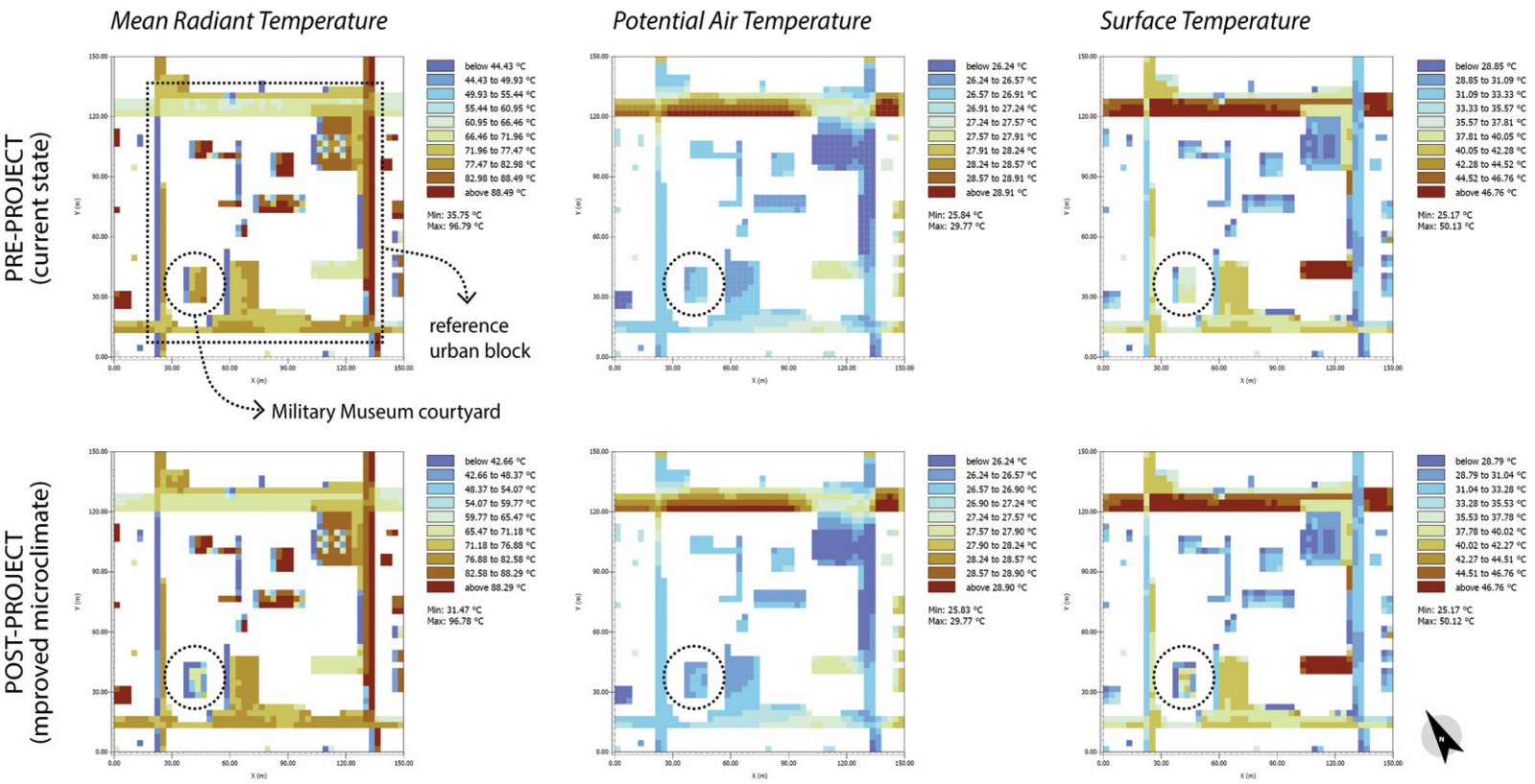
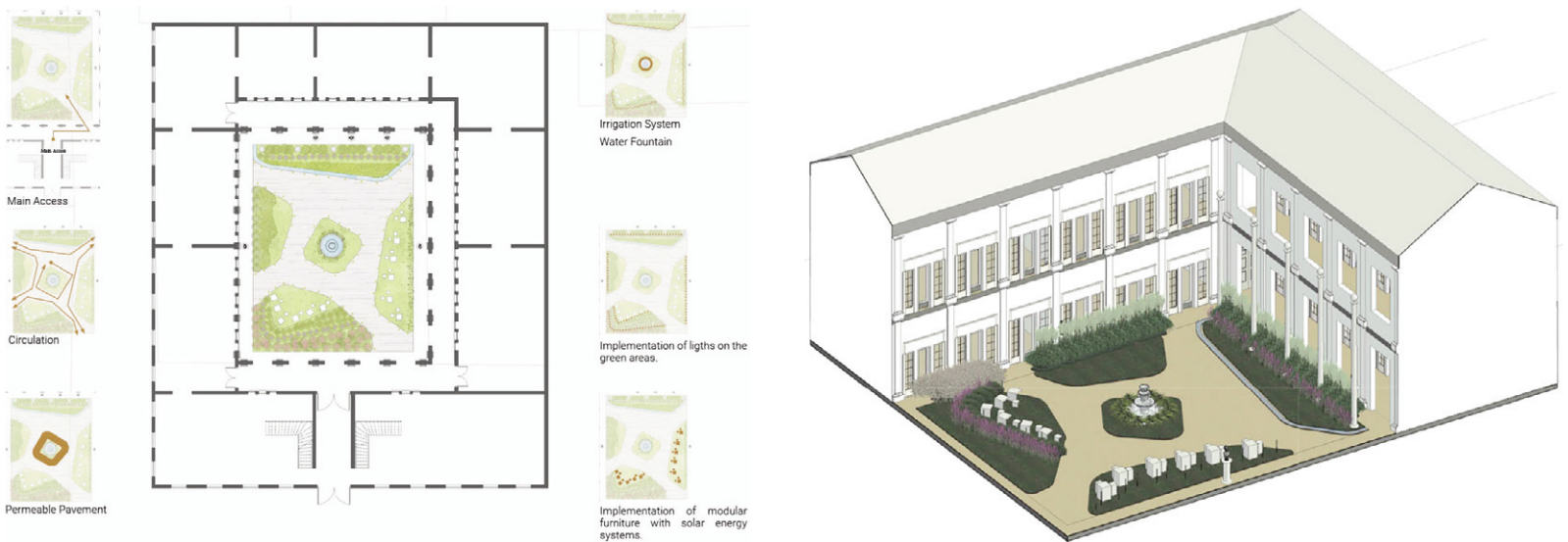


Fig. 8 | State of the Military Museum courtyard (credit: N. Pardo Delgado, 2024).

Figgs. 9, 10 | Selection and application of intervention strategies for the Military Museum courtyard (credits: the Authors, 2024).

Fig. 11 | Microclimate simulation of the Military Museum area on June 21 at h.13.00 (credit: the Authors, 2024).

tures, it is possible to produce a remarkable transformation of the space (Fig. 9, 10). The comparison between before and after is made more evident by using the correlation matrix between attributes and design elements to calculate an overall quality score, both with respect to the current situation and for the design simulation.

It is calculated by assigning a quality rating to each design component with reference to the current state and then translating it into a numerical value (absent – 0; poor – 0.2; average – 0.6; good – 0.8). The overall quality score, which varies between 0 and 1, is calculated, for the current state, as the summation of the products between the grades and the relative weight of each design element. For the calculation of the design state, the increase due to the applied design actions is added to the grade for the current state. For the courtyard of the Military Museum, the score of the current situation is 0.21, while the design simulation achieves a grade of 0.69 (Tab. 3). The impact of the assumed actions is further confirmed by the microclimate simulation (Fig. 11).

The present study is part of the growing strand of research on green infrastructure and NbS, with the critical aim of contributing to a geographic rebalancing of scientific production in favour of currently neglected but crucial countries in the global sustainability challenge, such as LAC (Flores et alii, 2022). The proposal also originates from the apparent disconnect between theoretical production and practical applications of NbS and the finding of

Planning Offices' difficulties in integrating research prescriptions into an Implementation Programme (Frantzeskaki, 2019; Hansen et alii, 2019).

Developing a matrix to support the preliminary assessment of intervention areas and planning possible NbS interventions is a practical contribution to integrating the green infrastructure concept into urban planning systems. Based on three attributes and four design elements, the assessment matrix is a highly flexible tool adaptable to analysing different small-scale urban spaces. In the case study presented, the application of the three-scale analysis led to the focus of the proposal on the public courtyards of cultural Institutions, in continuity with Bogotá's urban history and emphasising the social and functional value of 'patios' within the compact matrix of the historic Candelaria neighbourhood.

The small scale of the proposed interventions, on the one hand, is a strategy to provide local governments with solutions that can be easily and quickly implemented; on the other hand, it is a possible limitation with respect to the effectiveness of a larger-scale urban green infrastructure. Individual interventions that can be evaluated and quantified using the proposed matrix undoubtedly impact the local level, but they only gain relevance at the urban scale if they are part of broader planning thinking.

In conclusion, with reference to the geographic context analysed and the case study, the systemic integration of NbS in Urban Transformation Programmes passes primarily through the transforma-

tion of public spaces and small- and medium-scale interventions play a significant strategic role. The development of programmes adapted to each urban context must necessarily be based on a thorough understanding of it and possibly enhance its historical characteristics, implementing an innovation approach in dialogue with the social and cultural matrix of the place, with the ultimate goal of ensuring a truly sustainable transformation of the urban environment.

Acknowledgements

The contribution is the result of a shared reflection among the Authors. In particular, the integration themes of Green Infrastructure and Nature-based Solutions have long been the main focus of research by Prof. J. Tzortzi and M. S. Lux, while the shift of interest to the South American context and the Bogotá case study are the result of dialogue and fruitful discussion with N. Pardo Delgado, who comes from this city and focused his experimental research on it. The Department of Architecture, Built Environment, and Construction Engineering of the Politecnico di Milano supported the research.

Notes

1) For more information, see the webpage: unep.org/news-and-stories/story/latin-american-universities-prioritize-sustainability [Accessed 28 April 2024].

2) For more information on the Emerging and Sustainable Cities Programme (ESC), see the webpage: iadb.org/en/who-we-are/topics/urban-development-and-housing/urban-development-and-housing-initiatives/emerging [Accessed 28 April 2024].

3) For more information on Bogotá's Statistics and Facts, see the webpage: statista.com/topics/10790/bogota/#statisticChapter [Accessed 18 March 2024].

4) For more information, see the webpage: bogota.gov.co/yo-participo/plan-desarrollo-claudia-lopez-2020-2024/ [Accessed 28 April 2024].

5) For more information, see the webpage: cccs.org.co/wp/ [Accessed 18 March 2024].

References

Andersson, E., Barthel, S., Borgström, S., Colding, J.,

Elmqvist, T., Folke, C. and Gren, Å. (2014), "Reconnecting cities to the biosphere – Stewardship of green infrastructure and urban ecosystem services", in *Ambio*, vol. 43, issue 4, pp. 445-453. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s13280-014-0506-y [Accessed 18 March 2024].

Andrade, G. I., Remolina, F. and Wiesner, D. (2013), "Assembling the pieces – A framework for the integration of multi-functional ecological main structure in the emerging urban region of Bogotá, Colombia", in *Urban Ecosystems*, vol. 16, issue 4, pp. 723-739. [Online] Available at: doi.org/10.1007/S11252-013-0292-5 [Accessed 28 April 2024].

Banzhaf, E., de la Barrera, F. and Reyes-Paecke, S. (2019), "Urban Green Infrastructure in Support of Ecosystem Services in a Highly Dynamic South American City – A Multi-Scale Assessment of Santiago de Chile", in Schröter, M., Bonn, A., Klotz, S., Seppelt, R. and Baessler, C. (eds), *Atlas of Ecosystem Services*, Springer, Cham, pp. 157-165. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-319-96229-0_25 [Accessed 18 March 2024].

Banzhaf, E., Reyes-Paecke, S. M. and de la Barrera, F. (2018), "What Really Matters in Green Infrastructure for the Urban Quality of Life? Santiago de Chile as a Showcase City", in Kabisch, S., Koch, F., Gaweł, E., Haase, A., Knapp, S., Krellenberg, K., Nivala, J. and Zehndorf, A. (eds), *Urban Transformations*, Springer, Cham, pp. 281-300. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-319-59324-1_15 [Accessed 18 March 2024].

Bartessaghi Koc, C., Osmond, P. and Peters, A. (2017), "Towards a comprehensive green infrastructure typology – A systematic review of approaches, methods and typologies", in *Urban Ecosystems*, vol. 20, pp. 15-35. [Online] Available at: doi.org/10.1007/S11252-016-0578-5 [Accessed 18 March 2024].

Bartessaghi Koc, C., Osmond, P. and Peters, A. (2016), "A Green Infrastructure Typology Matrix to Support Urban

Microclimate Studies", in *Procedia Engineering*, vol. 169, pp. 183-190. [Online] Available at: doi.org/10.1016/J.PRO-ENG.2016.10.022 [Accessed 18 March 2024].

Clemente, C., Palme, M., Mangiatordi, A., La Rosa, D. and Privitera, R. (2022), "Il verde urbano nella riduzione dei carichi di raffrescamento – Simulazioni nel clima Mediterraneo | Urban green areas in the reduction of cooling loads – Simulations in the Mediterranean climate", in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 11, pp. 182-191. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/11162022 [Accessed 18 March 2024].

da Cunha, J. M. P. and Rodríguez Vignoli, J. (2009), "Crecimiento urbano y movilidad en América Latina | Urban growth and population mobility in Latin America", in *Revista Latinoamericana de Población*, vol. 3, issue 4-5, pp. 27-64. [Online] Available at: doi.org/10.31406/RELAP2009.V3.I1.N4-5.1 [Accessed 18 March 2024].

DADEP – Departamento Administrativo de la Defensoría del Espacio Público (2022), *Reporte técnico de indicadores de espacio público 2021*. [Online] Available at: observatorio.dadep.gov.co/sites/default/files/2021/03/2021_reporte_tecnico_de_indicadores_de_espacio_publico_2021_final_8.pdf [Accessed 28 April 2024].

de Mola, U. L., Ladd, B., Duarte, S., Borchard, N., La Rosa, R. A. and Zutta, B. (2017), "On the Use of Hedonic Price Indices to Understand Ecosystem Service Provision from Urban Green Space in Five Latin American Megacities", in *Forests*, vol. 8, issue 12, article 478, pp. 1-15. [Online] Available at: doi.org/10.3390/F8120478 [Accessed 18 March 2024].

Delgado-Capel, M. and Cariñanos, P. (2020), "Towards a Standard Framework to Identify Green Infrastructure Key Elements in Dense Mediterranean Cities", in *Forests*, vol. 11, issue 12, article 1246, pp. 1-22. [Online] Available at: doi.org/10.3390/f11121246 [Accessed 18 March 2024].

Diz-Mellado, E., López-Cabeza, V. P., Rivera-Gómez, C.

and Galán-Marín, C. (2023), “Seasonal analysis of thermal comfort in Mediterranean social courtyards – A comparative study”, in *Journal of Building Engineering*, vol. 78, article 107756, pp. 1-15. [Online] Available at: doi.org/10.1016/J.JOBE.2023.107756 [Accessed 18 March 2024].

Dobbs, C., Eleuterio, A. A., Vásquez, A., Cifuentes-Ibarra, M., da Silva, D., Devisscher, T., Baptista, M. D., Hernández-Moreno, Á., Meléndez-Ackerman, E. and Navarro, N. M. (2023), “Are we promoting green cities in Latin America and the Caribbean? Exploring the patterns and drivers of change for urban vegetation”, in *Land Use Policy*, vol. 134, article 106912, pp. 1-11. [Online] Available at: doi.org/10.1016/J.LANDUSEPOL.2023.106912 [Accessed 28 April 2024].

Dobbs, C., Escobedo, F. J., Clerici, N., de la Barrera, F., Eleuterio, A. A., MacGregor-Fors, I., Reyes-Paecke, S., Vásquez, A., Zea Camaño, J. D. and Hernández, H. J. (2019), “Urban Ecosystem Services in Latin America – Mismatch between global concepts and regional realities?”, in *Urban Ecosystems*, vol. 22, pp. 173-187. [Online] Available at: doi.org/10.1007/S11252-018-0805-3 [Accessed 18 March 2024].

Ernest, R. and Ford, B. (2012), “The role of multiple-courtyards in the promotion of convective cooling”, in *Architectural Science Review*, vol. 55, issue 4, pp. 241-249. [Online] Available at: doi.org/10.1080/00038628.2012.723400 [Accessed 18 March 2024].

European Commission (2023), “New European Bauhaus Academy to build skills for sustainable construction with innovative materials”, in *ec.europa.eu*, 18/12/2023. [Online] Available at: ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_23_6593 [Accessed 18 March 2024].

Flores, S., Van Mechelen, C., Vallejo, J. P. and Van Meerbeek, K. (2022), “Trends and status of urban green and urban green research in Latin America”, in *Landscape and Urban Planning*, vol. 227, article 104536, pp. 1-18. [Online] Available at: doi.org/10.1016/J.LANDURBPLAN.2022.104536 [Accessed 18 March 2024].

Food and Land Use Coalition (2023), *Prosperous Land, Prosperous People – Scaling finance for Nature-based Solutions in Colombia*. [Online] Available at: foodandlandusecoalition.org/knowledge-hub/ [Accessed 18 March 2024].

Frantzeskaki, N. (2019), “Seven lessons for planning nature-based solutions in cities”, in *Environmental Science and Policy*, vol. 93, pp. 101-111. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.envsci.2018.12.033 [Accessed 18 March 2024].

Haaland, C. and van den Bosch, C. K. (2015), “Challenges and strategies for urban green-space planning in cities undergoing densification – A review”, in *Urban Forestry & Urban Greening*, vol. 14, issue 4, pp. 760-771. [Online] Available at: doi.org/10.1016/J.UFUG.2015.07.009 [Accessed 18 March 2024].

Hansen, R., Olafsson, A. S., van der Jagt, A. P. N., Rall, E. and Pauleit, S. (2019), “Planning multifunctional green infrastructure for compact cities – What is the state of practice?”, in *Ecological Indicators*, vol. 96, part 2, pp. 99-110. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.09.042 [Accessed 18 March 2024].

IDB – Inter-American Development Bank (2020), *Climate-Resilient Biodiverse Cities in Latin America*. [Online] Available at: issuu.com/ciudadesemergentesysostenibles/docs/climate-resilient_biodiverse_cities_in_lac_march_2 [Accessed 28 April 2024].

IDB – Inter-American Development Bank (2016), *Guía Metodológica Programa de Ciudades Emergentes y Sostenibles*. [Online] Available at: publications.iadb.org/es/guia-metodologica-programa-de-ciudades-emergentes-y-sostenibles-tercera-edicion [Accessed 28 April 2024].

Ingaramo, M. O. and Stepanovic, M. (2021), “Quando le luci si spengono – Prospettive future per la progettazione della casa intelligente | When lights turn off – Future perspectives to design smart homes”, in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 10, pp. 168-179. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/10152021 [Accessed 18 March 2024].

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2023), *Climate Change 2023 – Synthesis Report – Working Groups I, II and III Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [Online] Available at: doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647 [Accessed 18 March 2024].

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2022), *Climate change 2022 – Impacts, adaptation, and vulnerability – Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [Online] Available at: ipcc.ch/report/ar6/wg2/ [Accessed 18 March 2024].

Lizana, J., López-Cabeza, V. P., Renaldi, R., Diz-Mellado, E., Rivera-Gómez, C. and Galán-Marín, C. (2022), “Integrating courtyard microclimate in building performance to mitigate extreme urban heat impacts”, in *Sustainable Cities and Society*, vol. 78, article 103590, pp. 1-15. [Online] Available at: doi.org/10.1016/J.SCS.2021.103590 [Accessed 18 March 2024].

Mejía Pavony, G. R. (2000), *Los años del cambio – Historia urbana de Bogotá, 1820-1910*, Centro Editorial Javeriano, Bogotá. [Online] Available at: issuu.com/publicacionesfcs/docs/los_a_os_del_cambio [Accessed 18 March 2024].

Mercado, G., Wild, T., Hernandez-Garcia, J., Baptista, M. D., van Lierop, M., Bina, O., Inch, A., Ode Sang, Á., Buijs, A., Dobbs, C., Vásquez, A., van der Jagt, A., Salbitano, F., Falanga, R., Amaya-Espinel, J. D., de Matos Pereira, M. and Randrup, T. B. (2024), “Supporting Nature-Based Solutions via Nature-Based Thinking across European and Latin American cities”, in *Ambio*, vol. 53, pp. 79-94. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s13280-023-01920-6 [Accessed 18 March 2024].

Ozment, S., Gonzalez, M., Schumacher, A., Oliver, E., Morales, G., Gartner, T., Silva, M., Watson, G. and Grünwaldt, A. (2021), *Nature-based Solutions in Latin America and The Caribbean – Regional Status and Priorities for Growth*, Inter-American Development Bank and World Resources Institute, Washington (DC). [Online] Available at: doi.org/10.18235/0003687 [Accessed 18 March 2024].

Pauleit, S., Hansen, R., Rall, E. L., Zölch, T., Andersson, E., Luz, A. C., Szaraz, L., Tosics, I. and Vierikko, K. (2017), “Urban Landscapes and Green Infrastructure”, in *Environmental Science*, Oxford University Press, USA. [Online] Available at: doi.org/10.1093/acrefore/9780199389414.013.23 [Accessed 18 March 2024].

Pelorosso, R., Gobattoni, F. and Leone, A. (2017), “Green Courtyards as Urban Cool Islands – Towards Nature-based climate adaptation plans of compact cities”, in *City Safety Energy Journal*, vol. 1, pp. 27-36. [Online] Available at: doi.org/10.12896/CSE20160010086 [Accessed 18 March 2024].

Russo, A. and Cirella, G. T. (2018), “Modern Compact Cities – How Much Greenery Do We Need?”, in *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 15, issue 10, article 2180, pp. 1-15. [Online] Available at: doi.org/10.3390/IJERPH15102180 [Accessed 18 March 2024].

Sáenz, O. (2024), “Sustainability in Higher Education Institutions in Latin America and the Caribbean – Trajectory, Performance and Challenges”, in Rotondo, F., Giovanelli, L. and Lozano, R. (eds), *Sustainability in Higher Education*, Springer, Cham, pp. 303-324. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-031-54026-4_14 [Accessed 28 April 2024].

Sainz-Santamaria, J. and Martinez-Cruz, A. L. (2022), “Adaptive governance of urban green spaces across Latin America – Insights amid Covid-19”, in *Urban Forestry & Urban Greening*, vol. 74, article 127629, pp. 1-15. [Online] Available at: doi.org/10.1016/J.UFUG.2022.127629 [Accessed 18 March 2024].

Salingaros, N. A. (2005), *Principles of Urban Structure*, Techne Press, Michigan.

Salingaros, N. A. (1998), “Theory of the urban web”, in *Journal of Urban Design*, vol. 3, issue 1, pp. 53-71. [Online] Available at: doi.org/10.1080/13574809808724416 [Accessed 18 March 2024].

Scalisi, F. and Ness, D. (2022), “Simbiosi tra vegetazione e costruito – Un approccio olistico, sistemico e multilivello | Symbiosis of greenery with built form – A holistic, systems, multi-level approach”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 11, pp. 26-39. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/112022 [Accessed 18 March 2024].

United Nations – Department of Economic and Social Affairs (2022), *World Urbanization Prospects 2022 – Summary of Results*. [Online] Available at: un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/wpp2022_summary_of_results.pdf [Accessed 18 March 2024].

Vásquez, A., Devoto, C., Giannotti, E. and Velásquez, P. (2016), “Green Infrastructure Systems Facing Fragmented Cities in Latin America – Case of Santiago, Chile”, in *Procedia Engineering*, vol. 161, pp. 1410-1416. [Online] Available at: doi.org/10.1016/J.PROENG.2016.08.602 [Accessed 18 March 2024].

Young, R., Zanders, J., Lieberknecht, K. and Fassman-Beck, E. (2014), “A comprehensive typology for mainstreaming urban green infrastructure”, in *Journal of Hydrology*, vol. 519, part C, pp. 2571-2583. [Online] Available at: doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2014.05.048 [Accessed 18 March 2024].

ARTICLE INFO

Received	18 March 2024
Revised	10 April 2024
Accepted	19 April 2024
Published	30 June 2024

MITIGAZIONE DEL CLIMA E COMFORT UMANO

Uno strumento per la modellazione e simulazione di supporto alle decisioni

CLIMATE MITIGATION AND HUMAN COMFORT

A decision-support modeling and simulation tool

Roberta Zarcone, Federica Nava, Fabrizio Tucci

ABSTRACT

Le attività umane sono riconosciute come principali responsabili del riscaldamento globale con conseguenze quali la perdita di biodiversità e fenomeni climatici estremi, eventi che influenzano il benessere umano. Il presente studio propone un approccio metodologico per la simulazione numerica delle interazioni tra i fenomeni climatici, l'ambiente costruito e l'individuo, basandosi sull'ipotesi che comprendere a fondo tali connessioni consenta lo sviluppo di strategie di intervento più efficaci per la mitigazione del clima e il comfort umano. La metodologia viene applicata a tre casi pilota al fine di analizzare l'influenza dei diversi parametri dell'ambiente costruito urbano sullo stress fisiologico: il quartiere (ex borgata) del Quatticciolo a Roma in Italia, il quartiere del Westside San Antonio in Texas (USA) e il quartiere Shuangta Suzhou in Cina.

Human activities are recognised as primarily responsible for global warming, with consequences such as biodiversity loss and extreme weather phenomena that impact human well-being. This study proposes a methodological approach for numerical simulation of the interactions between climate phenomena, the built environment, and the individual, based on the assumption that thoroughly understanding these connections will enable the development of more effective intervention strategies for climate mitigation and human comfort. The methodology is applied to three pilot cases in order to analyse the influence of different parameters of the urban built environment on physiological stress: the Quatticciolo neighbourhood (former borough) in Rome (Italy), the Westside San Antonio neighbourhood in Texas (USA), and the Shuangta Suzhou neighbourhood in China.

KEYWORDS

benessere, comfort, salute, ambiente costruito, strumento di supporto alle decisioni

well-being, comfort, health, built environment, decision support tool

Roberta Zarcone, Engineer-Architect and PhD, is an Associate Professor in Architectural Sciences and Techniques. She is the co-Director of the Geometry Structure Architecture (GSA) and co-President of the Digital Matters Department at the École Nationale Supérieure d'Architecture de Paris Malaquais (France). Her main research fields include the study of constructions' environmental impact through the development of numerical analysis methods. E-mail: roberta.zarcone@paris-malaquais.archi.fr

Federica Nava, Architect, is a PhD candidate at the Department of Planning, Design, and Architecture Technology at the 'Sapienza' University of Rome (Italy). Her research focuses on environmental and sustainable architecture, particularly in applied bioclimatics to existing buildings. E-mail: federica.nava@uniroma1.it

Fabrizio Tucci is a Full Professor of Environmental Design at the 'Sapienza' University of Rome (Italy), where he is the Director of the Department of Planning, Design, Architecture Technology, Director of the Second-level Master's Degree in Environmental Technological Design, Coordinator of the Environmental Technological Design Curriculum of the PDTA Doctorate, and Scientific Referee of Flagship Project 2 – Rome Technopole, funded by PNRR Funds. He is also the Coordinator of the International Experts Group of the Green City Network. For 25 years, he has been the scientific manager of national and international projects and research on environmental sustainability, climate neutrality, energy efficiency-bioclimatic, and resource circularity. E-mail: fabrizio.tucci@uniroma1.it



Negli ultimi decenni le tecnologie dell'informazione e della comunicazione hanno rivoluzionato l'economia, l'industria e le società globali. La crisi Covid-19 e le crisi climatiche hanno accelerato queste trasformazioni, mettendo in discussione il ruolo dell'uomo e l'interazione con l'ambiente (Lewis and Maslin, 2018; Zarcone, 2021). Diverse ricerche indicano che le attività antropogeniche sull'ambiente sono tra le principali cause del riscaldamento globale (Abbass et alii, 2022), in particolare l'emissione di gas serra, con la conseguente perdita di biodiversità, il depauperamento delle risorse e gli eventi estremi, tra cui le ondate di calore e le isole urbane di calore (Magliocco and Oneto, 2023). Questi fenomeni a loro volta hanno un impatto sugli esseri umani, creando rischi per la salute (Piracha and Chaudhary, 2022), la sussistenza e la sicurezza alimentare (IPCC, 2023) mentre altri studi mostrano un forte legame tra il benessere umano e l'ambiente naturale, con effetti come la riduzione dello stress, il ripristino cognitivo e l'autoregolazione (Helliwell et alii, 2020).

In questo contesto, per affrontare appieno le implicazioni dell'Antropocene in architettura, è necessario un cambio di paradigma: gli edifici e gli spazi urbani devono intendersi come sistemi viventi (Olivieri, 2022) in cui l'innovazione e la sostenibilità si integrano per creare un nuovo modo di vivere nelle città (González-Campaña, Lafaurie-Debany and Rabazo Martin, 2023). La sfida strategica attuale richiede un intervento primario sul tessuto costruito esistente (Tucci et alii, 2022) fondato su un'analisi approfondita dei molteplici aspetti dell'ambiente urbano, riconoscendone la natura dinamica e in continua evoluzione (da Costa Meyer, 2016).

Il tessuto costruito svolge infatti un ruolo cruciale come interfaccia tra l'uomo e l'ambiente naturale, influenzando l'interazione tra i fattori esterni e il comfort individuale (Lucarelli et alii, 2020). Per comprendere appieno questa dinamica è cruciale adottare un approccio integrato e multi-scalare, che consideri le relazioni tra macro e micro-scala, dal livello urbano fino al dettaglio costruttivo (Conato and Frighi, 2020). La definizione dei parametri dell'ambiente costruito, che influenzano il microclima urbano e determinano fenomeni climatici estremi, costituisce quindi il punto di partenza nodale.

Diverse ricerche indicano che la morfologia urbana, la densità del costruito e il rapporto altezza-larghezza degli edifici influenzano le variabili climatiche, come la temperatura dell'aria, quella radiante e la velocità del vento nei canyon urbani (Muniz-Gaal et alii, 2020); inoltre il trattamento superficiale di strade ed edifici può contribuire all'effetto dell'isola di calore (Migliari et alii, 2023). Diversi studi evidenziano l'influenza della tipologia dell'involucro sulle temperature medie all'aperto e sulla domanda di energia degli edifici, sottolineando come una progettazione adeguata degli involucri possa avere un ruolo importante per mitigare le isole di calore urbano (Kandya and Mohan, 2018), ma risultano rari gli studi che mettono in evidenza l'influenza della composizione stratigrafica degli involucri sul comfort outdoor (Di Giuseppe, Pergolini and Stazi, 2017).

La vastità delle variabili da considerare e la complessità delle analisi che coinvolgono ambiti diversi, dalla fisica dell'edificio al benessere fisico e psicologico umano (Aghamolaei et alii, 2023), rendono difficile una comprensione approfondita dei fenomeni

e, di conseguenza, la definizione di misure adeguate e altamente impattanti per la mitigazione climatica. Considerando un approccio olistico a tale questione, la presente ricerca si concentra sulle interazioni del sistema Uomo-Edificio-Ambiente esterno, con l'obiettivo di evidenziare l'influenza dei parametri legati all'ambiente costruito sulle condizioni di comfort all'aperto.

In linea con gli obiettivi stabiliti dall'Agenda 2030 (UN, 2015) riguardanti la formulazione di strategie di rigenerazione urbana, il contributo presenta uno strumento numerico di supporto alla decisione per la simulazione dei microclimi urbani basato sulla modellazione fisica dei fenomeni climatici e per la valutazione del comfort individuale. L'ipotesi che guida questa ricerca si basa sull'idea che comprendere come gli aspetti morfo-costruttivi del tessuto urbano interagiscono con lo stress fisiologico umano sia essenziale per affrontare i fenomeni termici urbani attuali e fornire il supporto necessario per le decisioni degli stakeholders.

Workflow numerico per la valutazione dello stress nello spazio esterno |

Oggi esistono numerosi modelli numerici per simulare le interazioni tra il costruito e l'ambiente esterno, integrando dati rilevati in situ e approcci multi-scalari per risultati sempre più precisi. Anche se questi strumenti permettono di predire con estrema precisione il microclima urbano (Du et alii, 2022; Stavrakakis, Katsaprakakis and Damasiotis, 2021), ogni software presenta dei punti di forza e delle limitazioni da considerare (lunghi tempi di simulazioni, risultati di alcuni output sovrastimati, fenomeni simulati semplificati, ecc.).

Tra i software più comunemente utilizzati per la simulazione del microclima urbano, ENVI-met e Ladybug tools sono tra i più diffusi: Envi-met è uno strumento di simulazione basato su CFD che permette di simulare ambienti urbani complessi, tenendo conto di una vasta gamma di fattori, inclusi la distribuzione degli edifici, gli spazi verdi, i materiali di superficie e le condizioni atmosferiche; Ladybug Tools fornisce una suite di plugin per Grasshopper, un linguaggio di programmazione visuale per Rhino, che consente ai designer di condurre analisi ambientali e simulazioni per il progetto architettonico.

Ladybug, Honeybee, Dragonfly e Butterfly sono tutti componenti della suite Ladybug Tools per Grasshopper: Ladybug si occupa dell'analisi ambientale, inclusa quella dell'illuminazione naturale e della radiazione solare; Honeybee gestisce la simulazione energetica degli edifici, dai calcoli di carico termico alle valutazioni di sostenibilità energetica, Dragonfly è focalizzato sulla visualizzazione e l'analisi dei dati, mentre Butterfly si specializza nella fluidodinamica computazionale per simulazioni avanzate del flusso d'aria. La Tabella 1 mostra le principali funzionalità, i punti di forza e le limitazioni dei due software ENVI-met e Ladybug tools. Alcune ricerche dimostrano come sia necessario sviluppare nuovi metodi numerici in grado di integrare i diversi software e superare le limitazioni di ognuno (Perini et alii, 2017).

La scelta di utilizzare la suite di Ladybug tools si basa sulla volontà di realizzare delle simulazioni nello stesso ambiente di modellazione parametrica (RhinoCeros / Grasshopper), consentendo la valutazione simultanea di vari parametri e scale di analisi e il calcolo automatico degli effetti sui fenomeni

considerati in relazione alle variazioni dei diversi parametri di input (Fig. 1). L'analisi della letteratura permette di definire i parametri a forte potenziale di impatto nella definizione del microclima urbano: il rapporto tra l'altezza degli edifici e la larghezza delle strade (H/W); il trattamento superficiale delle strade-edifici; le tipologie di involucro degli edifici.

Questo studio propone lo sviluppo di uno strumento parametrico che permette di esaminare l'influenza dei diversi parametri dell'ambiente costruito sulla variazione dell'aumento delle temperature esterne sopra una soglia limite, fissata a 25 °C, collegandola al calcolo del comfort per quantificarlo e delineare delle misure di mitigazione efficaci. L'approccio metodologico si basa sullo sviluppo di un algoritmo¹ di analisi parametrico multicriterio e multi-scalare (Fig. 2).

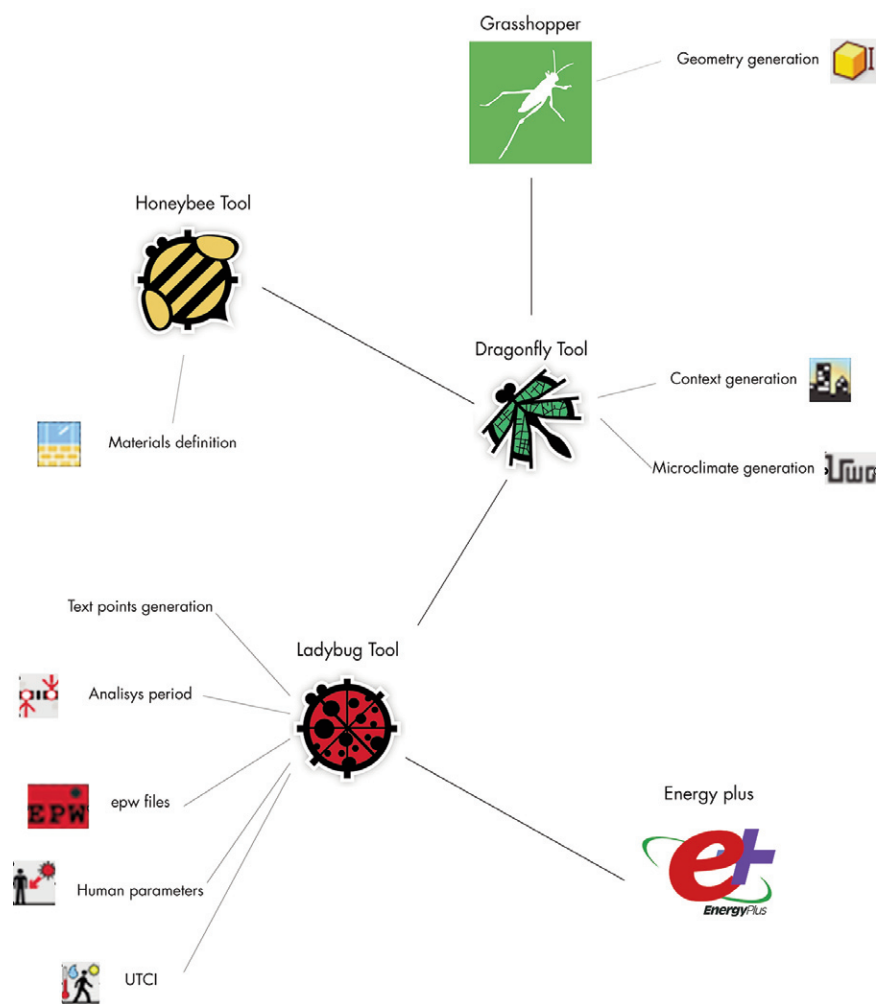
La prima tappa consiste nella costruzione parametrica del canyon urbano. Il "canyon urbano" è un concetto geometrico che rappresenta un modello spaziale delle città, utilizzato nella climatologia urbana per comprendere come gli spazi urbani influenzino le condizioni ambientali (Strømman-Andersen and Sattrup, 2011) e descritto come uno spazio stretto delimitato da due alte pareti verticali, ovvero gli edifici adiacenti. Le variabili nella modellazione parametrica consistono quindi nella distanza tra i due edifici (W) e l'altezza dal piano della strada (H); il rapporto altezza-larghezza permette di semplificare la complessità degli spazi urbani e delle forme edilizie.

La seconda tappa consiste nella definizione dei parametri di input che si possono classificare in due categorie: 1) i parametri morfo-costruttivi, propri della strada e degli edifici circostanti; 2) il sito di analisi e i relativi dati climatici. Per caratterizzare la strada si definiscono la riflettanza, la conduttività, lo spessore del materiale e l'eventuale presenza di vegetazione; per caratterizzare gli edifici circostanti, oltre alla destinazione d'uso e al numero di piani in funzione dell'altezza H, si definiscono il rapporto tra superfici opache e gli infissi e i materiali costituenti il pacchetto murario dell'involucro (Fig. 3).

Per simulare il microclima urbano si utilizza un generatore di condizioni meteorologiche urbane (Urban Weather Generator – UWG) integrato al programma parametrico (Bueno et alii, 2013). Si tratta di un modello utilizzato per calcolare le temperature dell'aria all'interno dei canyon urbani, basato su misurazioni provenienti da una stazione meteorologica situata in un'area aperta al di fuori di una città. I file climatici sono nel formato .epw (Energy-Plus / ESP)²; in questo modo è possibile simulare il microclima, che presenta in media temperature più elevate rispetto a quelle rilevate dalla stazione meteorologica.

Si definiscono quindi le condizioni della simulazione, ovvero l'altezza alla quale si desidera effettuare la simulazione e il periodo dell'anno. Al fine di analizzare il comfort umano, si utilizza l'indice Universal Thermal Climate Index (UTCI), per valutare il livello di stress termico sul corpo umano, considerando le variabili meteorologiche del microclima precedentemente simulato – la velocità del vento, l'umidità relativa, la temperatura dell'aria, la temperatura radiante e la radiazione solare – e il modello di termoregolazione integrato con un modello di abbigliamento (Błażejczyk et alii, 2010).

Per il calcolo dell'UTCI si definisce quindi la relazione tra la posizione dell'individuo e il cielo, al fi-



	ENVImet	Ladybug tools
Function	It is an holistic microclimate model system designed to simulate the surface-plant-air interaction in urban environment	It is a collection of computer applications that support environmental design
Simulation engine	CFD (Computational Fluid Dynamics Model)	Energyplus
Strengths	It takes into account the geometric characteristics of the hemisphere: each vector is weighted by a factor of the angle of incidence, relative to the surface	Free download
	Cool surfaces in shaded areas indirectly turn down the radiated surface temperatures and vice versa	Accurate characterization of the model
	It takes into account the interaction of vegetation with the microclimate	Possibility of parametrization
Weaknesses	Overestimate the global radiation	The amount of heat emitted and stored in materials is not considered
	Very long simulation time	It provides an estimate of evapotranspiration based on the ratio between vegetation cover and albedo (UWG)
	Approximate geometry model	

Fig. 1 | Map of Ladybug tools used and the main ones (credit: the Authors, 2024).

Tab.1 | Comparison of ENVImet and Ladybug (source: Ibrahim, Kershaw and Shepherd, 2020; Perini et alii, 2017; adapted by the Authors, 2024).

ne di calcolare la frazione di corpo direttamente esposto al sole per ogni ora del giorno e dell'anno; questo ci permette di ottenere la temperatura media radiante (Tmrt) necessaria al calcolo dell'indice di comfort (Fig. 4). In funzione dell'UTCI si calcola poi il livello di stress come riportato in Tabella 2 (Bröde et alii, 2012).

La sperimentazione su tre casi pilota | La metodologia viene applicata a tre casi pilota al fine di analizzare l'influenza dei diversi parametri dell'ambiente costruito urbano sullo stress umano: la borgata del Quarticciolo a Roma in Italia, il quartiere del Westside San Antonio in Texas (USA) e il quartiere Shuangta Suzhou in Cina. I casi studio, sebbene situati in contesti geografici molto diversi, si trovano nella stessa zona climatica del mondo (quella temperata calda) e affrontano problemi simili, legati all'aumento delle temperature e ai fenomeni estremi associati ai cambiamenti climatici in quelle fasce, in particolare quelli dell'accenuazione del fenomeno delle isole di calore urbano e dell'aumento della frequenza delle ondate di calore. Inoltre essi rappresentano esempi di quartieri consolidati, edificati agli inizi del '900, situati in contesti critici e caldi, e soggetti a degrado sociale e fisico, con, al contempo, una significativa conservazione del loro forte background storico e culturale.

Questo è importante per i successivi sviluppi della ricerca, in quanto, attraverso ulteriori analisi, è interessante capire quali strategie e quali sistemi d'intervento per la riqualificazione e la rigenerazione siano più appropriati al variare dei caratteri di contesto, in primis di quello culturale. Inoltre è interessante considerare che le tre aree presentano tre tipi di rapporti differenti tra le altezze degli edifici e l'ampiezza delle strade. In questo modo è possibile confrontare la risposta prestazionale al variare dei caratteri morfo-tipologici e tecnologico-costruttivi, a fronte di condizioni esterne che, seppur variando, ovviamente, per gli aspetti geografico-culturali, presentano forti assonanze dal punto vista climatico e sul piano delle categorie di problematiche climatico-ambientali ad essi connesse (Figg. 5-8).

A Roma le temperature durante l'anno variano dai 40 °C estivi ai -2 °C con umidità relativa tra 100% e 19%. A San Antonio le temperature rimangono sopra i 15 °C per la maggior parte dell'anno, con una umidità relativa che varia dal 100% al 9%. A Suzhou le temperature variano da 35 °C a -4 °C, con una umidità relativa variabile dal 100% al 26%.

La borgata romana del Quarticciolo, a Roma, a opera di Roberto Nicolini, viene realizzata a partire dal 1940 e completata tra gli anni Cinquanta e Sessanta (Accorsi and Chiavoni, 2022). L'altezza media degli edifici è di 15 metri e la larghezza si aggira intorno ai 19 metri, mentre le murature rilevate sono costituite da pezzame di tufo 'alla romana', listate con radi ricorsi di mattoni pieni estesi all'interno dello spessore.³

Il Westside, sito nella città di San Antonio, è uno storico quartiere caratterizzato dalla cultura Chicana⁴ che, nonostante si trovi in una zona centrale della città, presenta problematiche di degrado ambientale e sociale. L'area è caratterizzata da edilizia di tipo residenziale monofamiliare in legno, costituita da montanti lignei all'interno dei quali viene ospitato uno strato isolante. La morfologia consiste in edifici per lo più bassi, a un solo piano, la cui altezza media è 5 metri; la maggior parte delle strade ha un'ampiezza intorno agli 11 metri.

Il quartiere storico di Shuangta, sito nella città cinese di Suzhou, è stato costruito intorno al 1930. Il quartiere è costituito da edilizia di tipo popolare con edifici bassi a un solo piano e palazzine che arrivano fino a quattro piani. L'altezza media degli edifici è di 12 metri e la larghezza stradale varia da un minimo di 10 metri a un'ampiezza massima di 19 metri. L'involucro esterno è costituito da uno strato di mattoni forati e protetto da un fine spessore di intonaco interno ed esterno.⁵

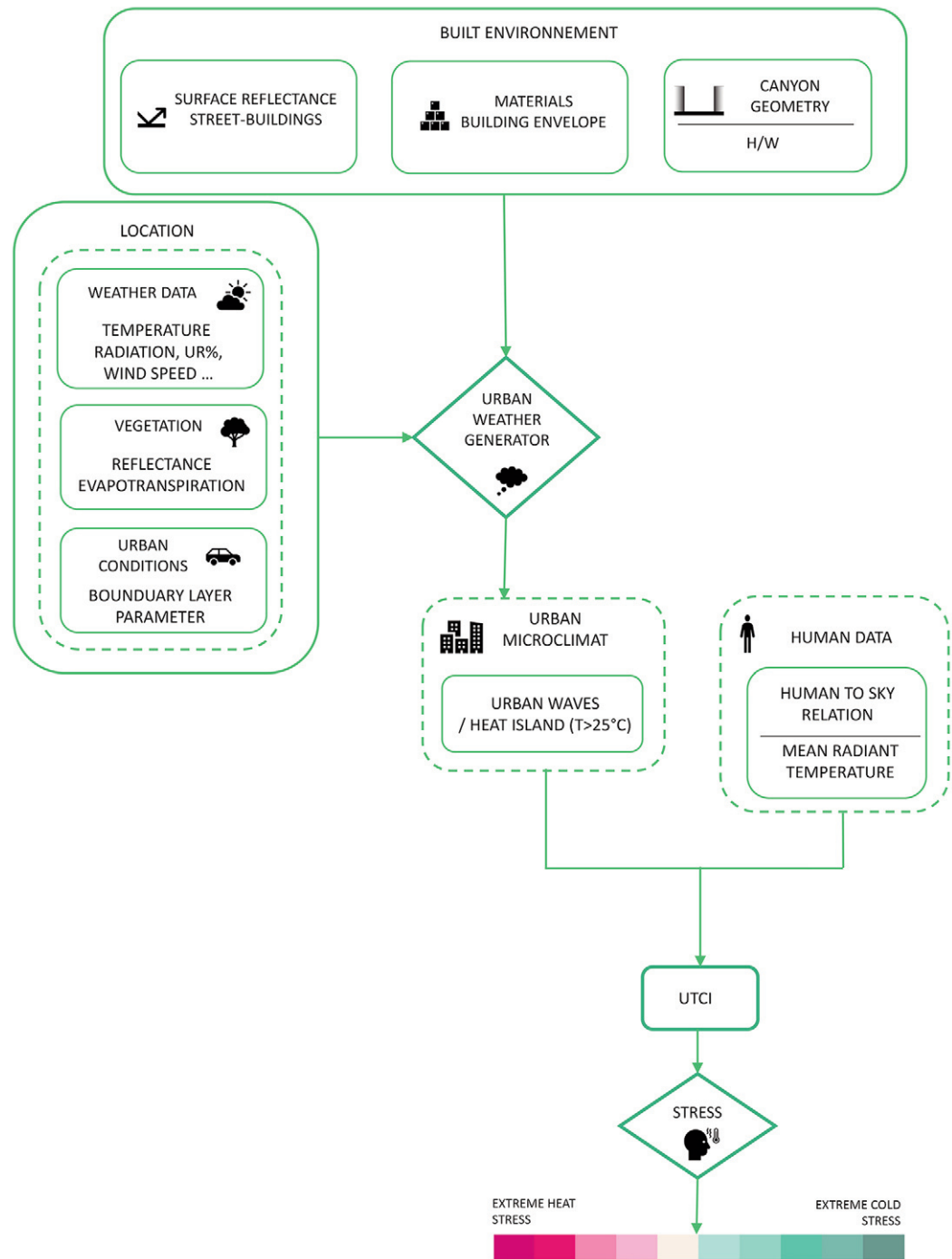
Risultati | I risultati delle simulazioni condotte sui tre casi di studio mostrano una stretta correlazione tra la densità urbana, i materiali utilizzati nella costruzione e il comfort umano. In questo contesto, i complessi legami tra clima, forma urbana e benessere umano sono stati analizzati attraverso lo studio dei modelli morfologici e costruttivi prevalenti nei diversi casi studio. Le condizioni microclimatiche sono state simulate per i tipi di canyon urbani ricorrenti dei casi studio e le tipologie di involucro caratteristiche del costruito esistente. È stato selezionato il periodo di analisi caratterizzato dal superamento di una temperatura limite di 25 °C, al fine di esaminare i periodi più probabili in cui possono verificarsi fenomeni termici estremi.

La Figura 9 mostra l'impatto della densità urbana, della morfologia urbana e della tipologia di involucro nella definizione del microclima urbano; infatti, l'artificializzazione del suolo e la presenza di materiali e superfici che inibiscono la dispersione del calore tramite irraggiamento termico favoriscono il maggior accumulo di calore e il conseguente aumento delle temperature in area urbana. Considerando che le isole di calore si verificano quando la temperatura della superficie e dell'atmosfera urbana è più alta di almeno tre gradi rispetto a quella di un'area rurale (Lai and Cheng, 2009), risulta interessante notare che, nel caso italiano, il fenomeno delle isole di calore risulta essere più rilevante rispetto agli altri due casi studio (con un gap di 5 °C in Italia, 1,5 °C in Texas e 3 °C in Cina): ciò è dovuto a una serie di fattori costruttivi e morfologici, che favoriscono l'aumento delle temperature, tra cui l'ampiezza delle strade, che in alcuni punti raggiunge anche i 40 metri, con la conseguente presenza di superfici asfaltate di colore scuro (riflettanza pari a 0,1).

È anche interessante notare che, quando la trasmittanza termica dell'involucro è più bassa, come nel caso americano, si verifica un disaccoppiamento tra le condizioni termiche interne ed esterne dell'edificio; questo porta a un aumento delle temperature superficiali esterne dell'involucro e, di conseguenza, a un lieve incremento della temperatura dell'aria esterna circostante.

La seconda tappa della metodologia ha l'obiettivo di mettere in relazione i fenomeni termici estremi con il comfort termico. Si analizzano le giornate più calde nei tre casi studio: il 25 agosto a Roma con picchi di 40 °C e umidità relativa del 24%; il 19 giugno a San Antonio, con temperature che raggiungono i 40 °C con umidità relativa del 26%; a Suzhou la giornata più calda è il 13 agosto, con temperature che raggiungono i 35,5 °C e umidità relativa del 54%.

Per le giornate più calde selezionate si analizza la radiazione solare diretta e le ore di sole per i tre rapporti H/W nei tre siti. L'orientamento scelto è quello Nord-Sud: nel quartiere Quarticciolo di Roma e nel quartiere Shuangta di Suzhou si può no-



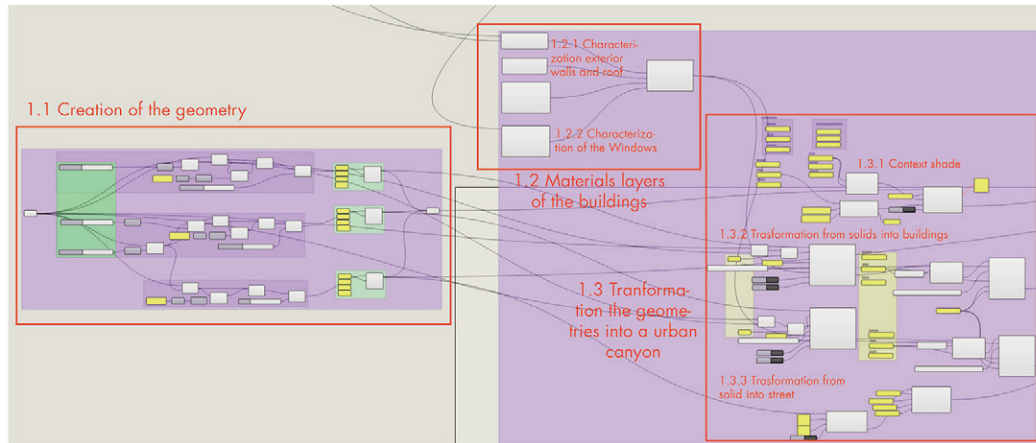
Parameters considered			Extreme phenomena	
Human factors			Metabolic activity	
			Clothing insulation	
			Clothing surface factor	
			Convection heat transfer coefficient	
			Human body irradiation	
Enviroment factors	Built environment	Materials	Albedo	
			Roughness	
			Emissivity	
			Conductibility	
			Permeability	
			Morphology	Construction detail
			Building	Material thickness
	Site	Urban	Form of the building	
			H/L	
			Effective air temperature	
			Wind speed	
			Relative humidity	
			Mean radiant temperature	



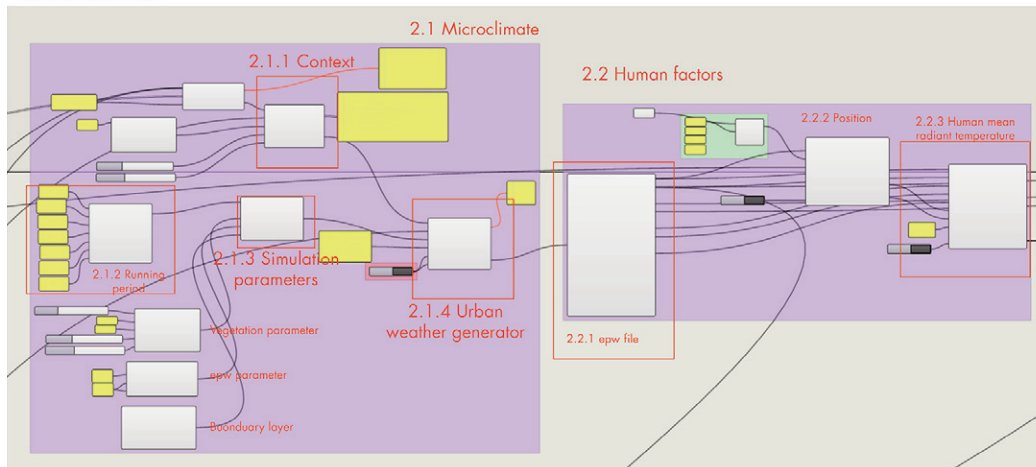
Fig. 2 | The proposed algorithm's workflow with the definition of inputs and outputs (credit: the Authors, 2024).

Fig. 3 | Parameters considered in the simulation that affect mitigating extreme climate phenomena due to rising temperatures (credit: the Authors, 2024).

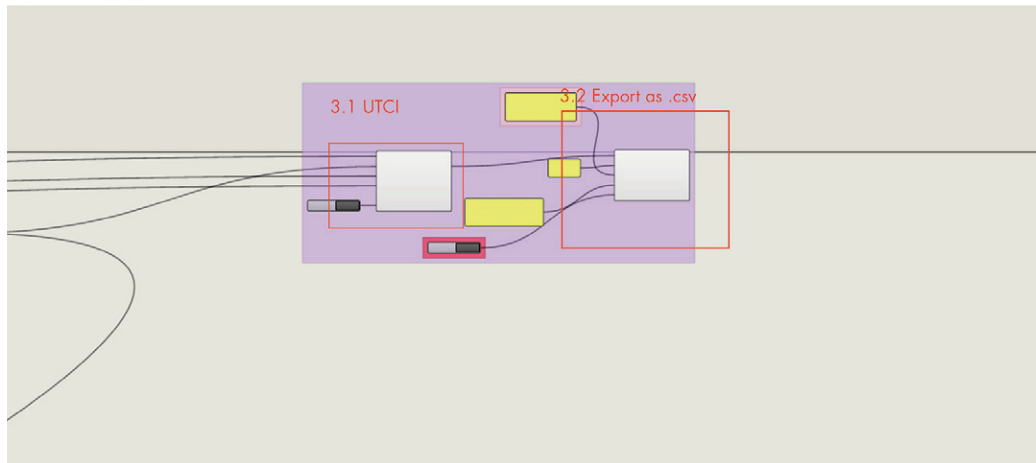
PHASE 1:
- CREATION OF GEOMETRY
- CREATION OF THE CONTEXT



PHASE 2:
- GENERATION OF THE MICROCLIMATE (URBAN WEATHER GENERATOR)
- HUMAN FACTORS



PHASE 3
- OUTPUT: UTCI



tare che le ore di sole sono ridotte dall'ombra portata dagli edifici circostanti, mentre a San Antonio le ore di sole sono nettamente superiori così come la radiazione solare diretta a causa della ridotta altezza degli edifici (Figg. 10-12).

Infine si calcola la temperatura equivalente che rappresenta la misura della risposta fisiologica umana all'ambiente termico (indice UTCI). I risultati dimostrano che nel caso americano l'intervallo di ore in cui si ha stress termico 'estremo' è superiore agli altri due casi studio (Fig. 13). La causa è legata a un rapporto H/W molto basso, pari a 0,5, e alla conseguente assenza di ombra portata dagli edifici; le facciate e le strade sono quindi esposte alla radiazione solare diretta per più ore del giorno. In generale, nel giorno più caldo, per i tre casi studio l'esposizione allo stress termico umano classificato 'forte', 'molto forte' o 'estremo' è di 9 ore al giorno. I risultati confermano il ruolo cruciale dell'esposizione alla radiazione solare: i pedoni assorbono energia dalle superfici circostanti e dall'esposizione diretta al sole.

La Figura 14 mostra la correlazione tra l'impatto della riflettanza del sistema involucri / strada e il comfort umano nei tre contesti climatici. Sono stati analizzati tre valori di riflettanza differenti: 0,2 per un colore molto scuro; 0,5 per una superficie mediamente riflettente; 0,8 per un 'materiale freddo'. I risultati di indice UTCI dimostrano che la temperatura media generalmente diminuisce e quindi lo stress termico generalmente è inferiore per valori di riflettanza più alti e questa tendenza è rilevabile in tutte e tre le zone climatiche; questo è particolarmente vero per l'area italiana, dove la differenza di UTCI tra le riflettività estreme è di circa 1 °C.

I risultati permettono di evidenziare come l'aumento dello stress termico esterno sia influenzato dalle combinazioni dei seguenti fattori: valori di H/W più bassi, superfici di involucri e strade con bassa riflettanza solare e involucri altamente isolati. Di conseguenza le strategie volte ad aumentare l'ombreggiatura e l'utilizzo di involucri a bassa riflettanza, preferibilmente di colore chiaro, potrebbero dimostrarsi delle misure chiave per garantire un elevato livello di comfort termico all'aperto.

Conclusioni | Il contributo illustra un approccio metodologico basato sullo sviluppo di uno strumento numerico per la modellazione fisica dei fenomeni microclimatici urbani e la valutazione del comfort individuale all'aperto, analizzando le possibili interazioni tra i diversi livelli e scale di analisi. La capacità di esaminare le interazioni fisiche del sistema Uomo-Edificio-Ambiente esterno consente di definire un quadro conoscitivo approfondito che diventa la base progettuale per la definizione degli interventi finalizzati alla mitigazione climatica. In questo contesto si evidenzia il profilo originale dell'approccio metodologico basato sull'interoperabilità tra aspetti morfo-costruttivi e di comfort umano.

L'utilizzo della simulazione e della modellazione può favorire la definizione di strategie tecnologiche adeguate a migliorare il comfort urbano al-

Fig. 4 | The three phases of the workflow: Phase 1 – Creating the geometry and context; Phase 2 – Creating the microclimate and defining the human parameters; Phase 3 – Calculating the UTCI output (credit: the Authors, 2024).

Tab. 2 | Graph showing physiological stress as a function of UTCI (credit: the Authors, 2024).

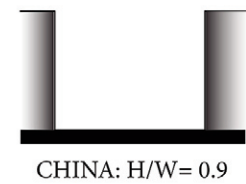
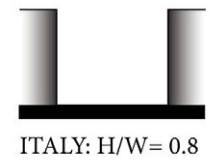
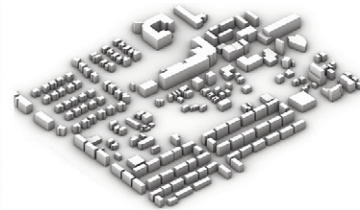
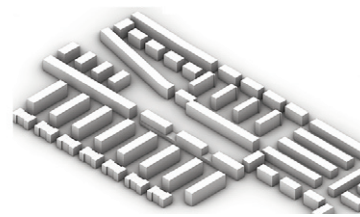
Physiological Stress	Range (°C UTCI)	Color
extreme heat stress	> +46	Dark Red
very strong heat stress	+38 to +46	Red
strong heat stress	+32 to +38	Light Red
moderate heat stress	+26 to +32	Orange
no thermal stress	+9 to +26	Yellow
slight cold stress	0 to +9	Light Green
moderate cold stress	-13 to 0	Green
strong cold stress	-27 to -13	Dark Green
very strong cold stress	-40 to -27	Teal
extreme cold stress	< -40	Dark Teal

l'aperto e a mitigare le cause del cambiamento climatico dell'ambiente costruito. In questo contesto il modello numerico proposto si configura come uno strumento di supporto decisionale per tecnici, Amministrazioni pubbliche e ricercatori nel settore, facilitando l'analisi, la comprensione e la progettazione tecnologica innovativa in contesti urbani esistenti; inoltre tale approccio è in linea con gli obiettivi del NextGenerationEU⁶ e del PNRR nazionale (MIMIT, 2023).

La metodologia basata su uno strumento parametrico permette la sua replicabilità a diversi contesti urbani. Attualmente l'algoritmo proposto si focalizza sull'analisi dei fenomeni termici estremi; tuttavia l'integrazione di ulteriori parametri e di dati di input meteorologici rilevati nel tempo potrebbe consentire di esaminare più approfonditamente le interazioni fisiche tra individui, edifici e ambiente durante altri fenomeni quali le ondate di calore. Una futura implementazione numerica permetterà di sperimentare varie strategie di intervento tecnologico-ambientale, come l'installazione di facciate vegetali o sistemi di protezione solare, e di valutare simultaneamente i loro effetti sul benessere fisico all'aperto. Infine un'ulteriore linea di ricerca si concentra sull'analisi contestuale dei consumi energetici degli edifici e del comfort indoor al fine di correlare le condizioni ambientali esterne con quelle interne.

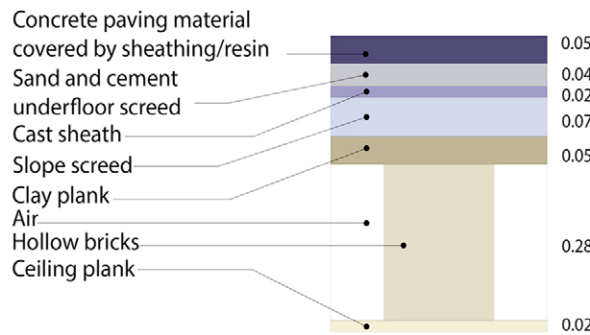
Il settore edilizio è oggi al centro di una transizione profonda energetica e socioeconomica finalizzata alla riduzione delle emissioni che si manifesta chiaramente nel passaggio da un approccio del tipo 'design of things' a uno 'design of cycles', ridefinendo l'idea di circolarità che riguarda la programmazione delle politiche nazionali e internazionali a supporto della rigenerazione di aree urbane. Da questo punto di vista la ricerca consente una conoscenza più approfondita delle interazioni tra uomo, edificio e ambiente al fine di sviluppare strategie d'intervento e scenari di rigenerazione: un tale approccio all'innovazione, interpretato come processo per il benessere umano e per la mitigazione climatica, cerca di identificare nell'ambiente costruito le origini di fenomeni, modelli e processi innovativi per un nuovo modo sostenibile di costruire.

Information and communication technologies have revolutionised the global economy, industry, and society in recent decades. The Covid-19 and climate crises have accelerated these transformations, challenging the role of humans and their interaction with the environment (Lewis and Maslin, 2018; Zarcone, 2021). Several types of research indicate that anthropogenic activities on the environment are among the leading causes of global warming (Abbass et alii, 2022), particularly the emission of greenhouse gases, resulting in biodiversity loss, resource depletion, and extreme events, including heat waves and urban heat islands (Maggiocco and Oneto, 2023). These phenomena, in turn, impact humans, creating health risks (Piracha and Chaudhary, 2022), livelihoods and food security (IPCC, 2023). Other studies show a strong link between human well-being and the natural environment, with effects such as stress reduction, cognitive restoration, and self-regulation (Helliwell et alii, 2020).



ITALY- ROOF

U = 2,1 W/m²K



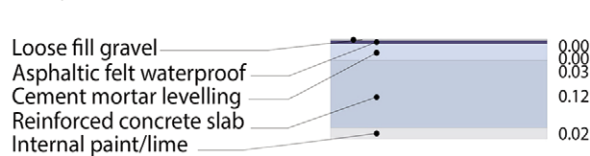
USA - ROOF

U = 2,9 W/m²K



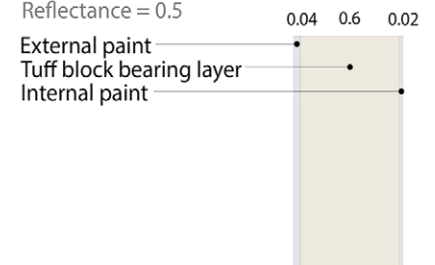
CHINA - ROOF

U = 2,4 W/m²K



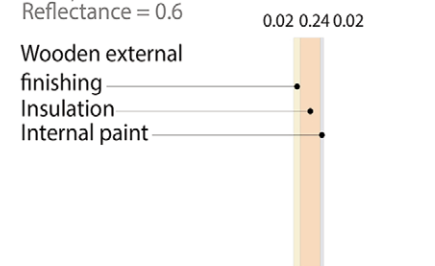
ITALY - ENVELOPE

U = 1 W/m²K



USA - ENVELOPE

U = 0,3 W/m²K



CHINA - ENVELOPE

U = 1,9 W/m²K

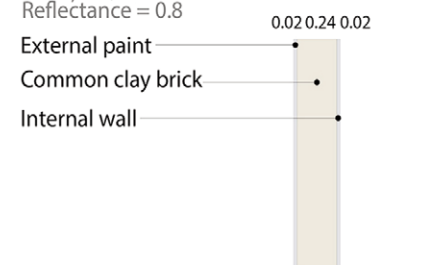


Fig. 5 | Quarticciole in Rome, Italy: model elaboration (credit: the Authors, 2024).

Fig. 6 | Westside in San Antonio, Texas; model elaboration (credit: the Authors, 2024).

Fig. 7 | Shuangta in Suzhou (China): model elaboration (credit: the Authors, 2024).

Fig. 8 | Stratigraphies and characteristics of building envelope types in the three pilot cases analysed: the Quarticciole, the Westside, and the Shuangta (credit: the Authors, 2024).

In this context, to fully address the implications of the Anthropocene in architecture, a paradigm shift is required: buildings and urban spaces must be understood as living systems (Olivieri, 2022) in which innovation and sustainability are integrated to create a new way of living in cities (González-Campaña, Lafaurie-Debany and Rabazo Martín, 2023). The current strategic challenge calls for primary intervention in the existing built stock (Tucci et alii, 2022) based on an in-depth analysis of the multiple aspects of the urban environment, recognising its dynamic and evolving nature (da Costa Meyer, 2016).

Indeed, the built stock plays a crucial role as an interface between humans and the natural environment, influencing the interaction between external factors and individual comfort (Lucarelli et alii, 2020). To fully understand this dynamic, it is crucial to adopt an integrated, multi-scalar approach that considers the relationships between macro- and micro-scale, from the urban level down to the building detail (Conato and Frighi, 2020). The nodal starting point is to define the parameters of the built environment, which influence the urban microclimate and determine extreme climatic phenomena.

Several types of research indicate that urban morphology, building density, and the height-to-width ratio of buildings influence climate variables, such as air temperature, radiant temperature, and wind speed in urban canyons (Muniz-Gäal et alii, 2020). In addition, the surface treatment of streets and buildings can contribute to the heat island effect (Migliari et alii, 2023); on the other hand, several studies highlight the influence of envelope type on average outdoor temperatures and building energy demand, emphasising that appropriate envelope design can play an important role in mitigating urban heat islands (Kandya and Mohan, 2018). However, studies highlighting the influence of envelope stratigraphic composition on outdoor comfort are rarer (Di Giuseppe, Pergolini and Stazi, 2017).

The vastness of the variables to be considered and the complexity of analyses involving different domains, from building physics to human physical and psychological well-being (Aghamolaei et alii, 2023), make it difficult to gain a thorough understanding of the phenomena and, consequently, to define appropriate and highly impactful measures for climate mitigation. Considering a holistic approach to this issue, the present research focuses on the interactions of the Human-Building-Outdoor Environment system, with the aim of highlighting the influence of parameters related to the built environment on outdoor comfort conditions.

In line with the goals set by Agenda 2030 (UN, 2015) regarding the formulation of urban regeneration strategies, the paper presents a numerical decision-support tool for the simulation of urban microclimates based on the physical modeling of climatic phenomena and the assessment of individual comfort. The hypothesis guiding this research is based on the idea that understanding how morpho-constructive aspects of the urban fabric interact with human physiological stress is essential to address current urban thermal phenomena and provide the necessary decision support for stakeholders.

Numerical workflow for stress assessment in outdoor space | Today, numerous numerical models simulate the interactions between the built and

outdoor environment, integrating data collected in situ and multi-scalar approaches for increasingly accurate results. Although these tools make it possible to predict urban microclimate with high accuracy (Du et alii, 2022; Stavrakakis, Katsaprakakis and Damasiotis, 2021), each software has strengths and limitations to consider (long simulation times, results of some outputs overestimated, simplified simulated phenomena, etc.).

Among the most commonly used software for urban microclimate simulation are ENVI-met and Ladybug tools. ENVI-met is a CFD-based simulation tool for simulating complex urban environments, considering a wide range of factors, including building distribution, green spaces, surface materials, and atmospheric conditions. Ladybug Tools provides a suite of plugins for Grasshopper, a visual programming language for Rhino, that enables designers to conduct environmental analysis and simulations for architectural design.

Ladybug, Honeybee, Dragonfly and Butterfly are all components of the Ladybug Tools suite for Grasshopper: Ladybug handles environmental analysis, including that of natural lighting and solar radiation; Honeybee handles building energy simulation, from heat load calculations to energy sustainability assessments; Dragonfly focuses on data visualisation and analysis; and Butterfly specialises in computational fluid dynamics for advanced airflow simulations. Table 1 shows the main features, strengths and limitations of the two software ENVI-met and Ladybug tools. Some research indicates a need to develop new numerical methods that can integrate the different software and overcome the limitations of each (Perini et alii, 2017).

The decision to use the Ladybug tools suite is based on the desire to carry out simulations in the same parametric modeling environment (Rhinoceeros / Grasshopper), allowing various parameters and scales of analysis to be considered simultaneously and the effects on the considered phenomena to be calculated automatically in relation to changes in the different input parameters (Fig. 1). The analysis of the literature allows defining the parameters with strong potential for impact in defining urban microclimate: the ratio of building height to street width (H/W); street-building surface treatment; and building envelope types.

This study proposes the development of a parametric tool to examine the influence of different parameters of the built environment on the variation of the increase in outdoor temperatures above a threshold limit, set at 25 °C, linking it to the calculation of comfort to quantify it and outline effective mitigation measures. The methodological approach is based on developing a multicriteria, multi-scalar parametric analysis algorithm¹ (Fig. 2).

The first step is the parametric construction of the urban canyon. The 'urban canyon' is a geometric concept that represents a spatial model of cities, used in urban climatology to understand how urban spaces influence environmental conditions (Strømman-Andersen and Sattrup, 2011), and described as a narrow space bounded by two tall vertical walls, i.e., adjacent buildings. Thus, the variables in parametric modeling consist of the distance between the two buildings (W) and the height from the street level (H); the height-to-width ratio allows the complexity of urban spaces and building forms to be simplified. The second step is to define the input parameters, which can be classified into two cate-

gories: 1) the morpho-constructive parameters, peculiar to the road and surrounding buildings; and 2) the analysis site and related climatic data. To characterise the street, reflectance, conductivity, material thickness and the possible presence of vegetation are defined; to characterise the surrounding buildings, in addition to the intended use and the number of floors as a function of height H, the ratio of opaque surfaces to fixtures and the materials constituting the wall envelope package are defined (Fig. 3).

An Urban Weather Generator (UWG) integrated with the parametric program (Bueno et alii, 2013) simulates the urban microclimate. This model calculates air temperatures within urban canyons based on measurements from a weather station located in an open area outside a city. The climate files are in .epw format (EnergyPlus / ESP)²; this makes it possible to simulate the microclimate, which has higher temperatures on average than those measured by the weather station.

The simulation conditions are then defined, namely the height at which the simulation is to be carried out and the time of year. In order to analyse human comfort, we use the Universal Thermal Climate Index (UTCI), which is used to assess the level of thermal stress on the human body, considering the meteorological variables of the previously simulated microclimate – wind speed, relative humidity, air temperature, radiant temperature and solar radiation – and the thermoregulation model integrated with a clothing model (Błażejczyk et alii, 2010).

For the calculation of the UTCI, we then define the relationship between the individual's position and the sky in order to calculate the fraction of the body directly exposed to the sun for each hour of the day and year; this allows us to obtain the mean radiant temperature (T_{mrt}) needed to calculate the comfort index (Fig. 4). As a function of the UTCI, we calculate the stress level as shown in Table 2 (Bröde et alii, 2012).

The experimentation on three pilot cases | The methodology is applied to three pilot cases in order to analyse the influence of different parameters of the urban built environment on human stress: the Quarticciolo district in Rome, Italy; the Westside San Antonio neighbourhood in Texas, USA; and the Shuangta Suzhou neighbourhood in China. The case studies, although located in very different geographical contexts, are located in the same climatic zone of the world (the warm temperate zone) and face similar problems related to rising temperatures and extreme phenomena associated with climate change in those belts, particularly those of the accentuation of the urban heat island phenomenon and the increased frequency of heat waves. Moreover, they represent examples of established neighbourhoods built in the early 1900s, located in critical and hot contexts, and subject to social and physical degradation, with, at the same time, significant preservation of their strong historical and cultural background.

This is important for subsequent research developments, as further analysis makes it interesting to understand which strategies and intervention systems for redevelopment and regeneration are most appropriate as contextual characters, primarily cultural ones, vary. It is also interesting to consider that the three areas have three types of different ratios of building heights to street widths. In this

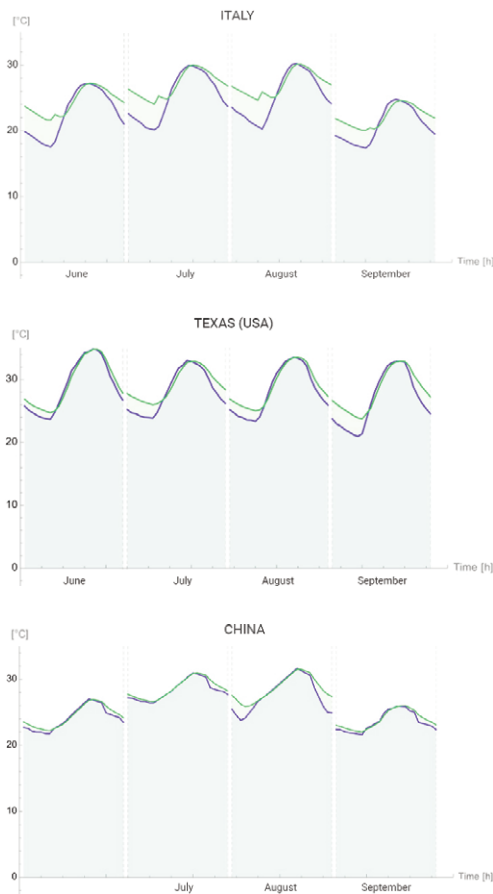


Fig. 9 | Graphs representing the daily average hourly temperature measured by the weather station and the simulated temperature in the urban microclimate during the summer period in the three case studies: the Quarticciolo, the Westside, and the Shuangta (credit: the Authors, 2024).

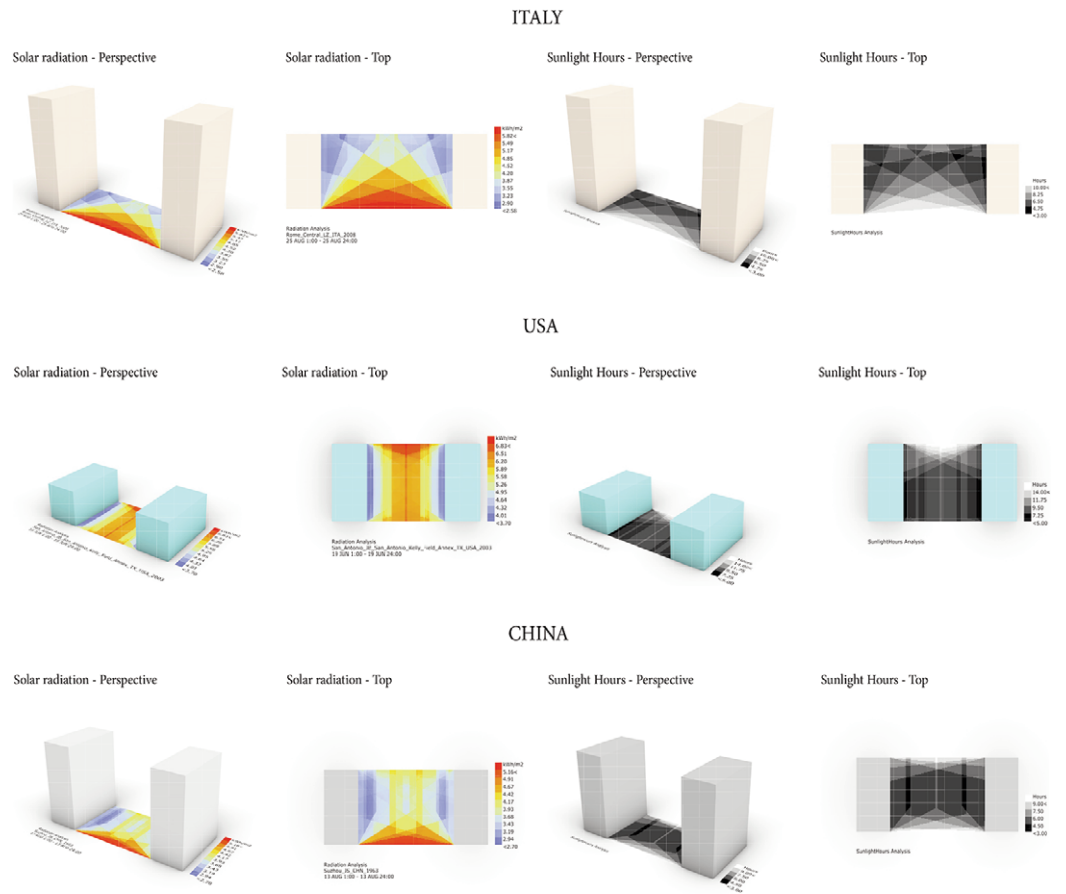


Fig. 10 | Solar radiation and sunshine hours during the hottest day of the year: August 25 for Quarticciolo in Rome, Italy (credit: the Authors, 2024).
Fig. 11 | Solar radiation and sunshine hours during the hottest day of the year: June 19 for the Westside in Texas (credit: the Authors, 2024).
Fig. 12 | Solar radiation and sunshine hours during the hottest day of the year: August 13 for Shuangta in China (credit: the Authors, 2024).

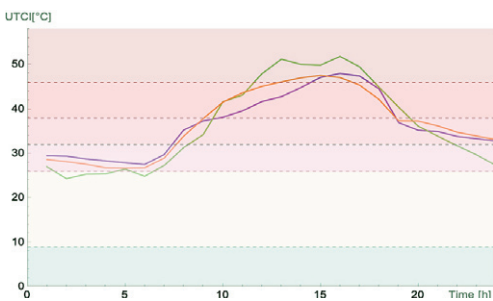


Fig. 13 | Hourly change in UTCI index during the hottest day of the year in the pilot cases analysed: (blue curve) August 25 for Quarticciolo; (green curve) June 19 for Westside; (orange curve) August 13 for Shuangta in China (credit: the Authors, 2024).

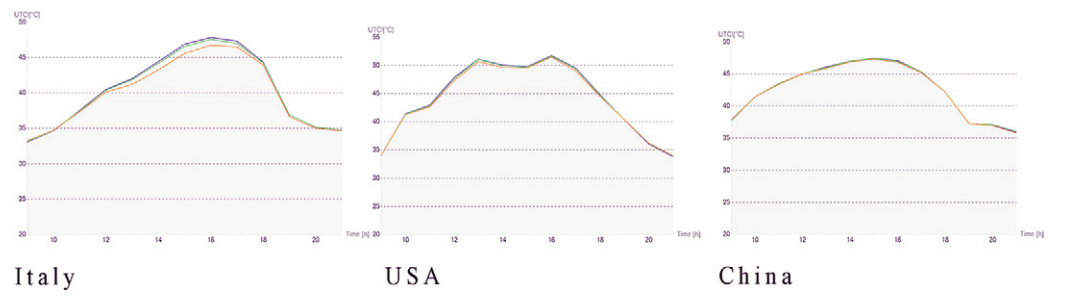


Fig. 14 | Variation of UTCI as the reflectance index changes during the hottest days (August 25) in Italy, (August 23) in China, and (June 19) in Texas. The blue curve corresponds to a reflectance index of 0.2, the green curve to 0.5, and the orange curve to 0.8 (credit: the Authors, 2024).

way, it is possible to compare the performance response to varying morpho-typological and technological-constructive characters in the face of external conditions that, while varying, of course, in terms of geographic-cultural aspects, have strong associations from the climatic point of view and on the level of the categories of climatic-environmental problems related to them (Fig. 5-8).

In Rome, temperatures range from 40 °C in summertime to -2 °C, with relative humidity between 100% and 19%. In San Antonio, temperatures remain above 15 °C for most of the year, with relative humidity ranging from 100% to 9%. In Suzhou, temperatures range from 35 °C to -4 °C, with relative humidity ranging from 100% to 26%.

The Roman district of Quarticciolo, in Rome, by Roberto Nicolini, was built starting in 1940 and completed between the 1950s and 1960s (Accorsi and Chiavoni, 2022). The average height of the buildings is 15 meters and the width is around 19 meters, while the surveyed masonry consists of pieces of 'Roman-style' tufa, lined with sparse recurrences of solid bricks extended within the thickness.³

The Westside, located in the City of San Antonio, is a historic neighbourhood characterised by the Chicana⁴ culture that, despite being located in a central area of the city, presents problems of environmental and social degradation. The area is characterised by a single-family wooden residential con-

struction consisting of wooden mullions, each of which houses an insulation layer. The morphology consists of mostly low, single-story buildings whose average height is 5 meters; most streets are around 11 meters wide.

The Shuangta Historic District, located in the Chinese City of Suzhou, was built around 1930. The district consists of social housing with low single-story buildings and apartment buildings up to four stories. The average height of the buildings is 12 meters, and the street width varies from a minimum of 10 meters to a maximum width of 19 meters. The outer shell consists of a layer of perforated brick and is protected by a fine interior and exterior plaster thickness.⁵

Results | The simulations conducted on the three case studies show a close correlation between urban density, materials used in construction, and human comfort. In this context, the complex links between climate, urban form, and human comfort were analysed by studying the morphological and construction patterns that prevail in the different case studies. Microclimatic conditions were simulated for the recurrent urban canyon types of the case studies and the envelope types characteristic of the existing built environment. The analysis period, characterised by the exceeding of a temperature limit of 25 °C, was selected in order to examine the most likely periods when extreme thermal phenomena may occur.

Figure 9 shows the impact of urban density, urban morphology and enclosure type in defining the urban microclimate; in fact, the artificialisation of the soil and the presence of materials and surfaces that inhibit heat dissipation through thermal radiation promote the greater accumulation of heat and the consequent increase in temperatures in the urban area. Considering that heat islands occur when urban surface and atmospheric temperatures are at least three degrees higher than in a rural area (Lai and Cheng, 2009), it is interesting to note that, in the Italian case, the heat island phenomenon appears to be more significant than in the other two case studies (with a gap of 5 °C in Italy, 1.5 °C in Texas and 3 °C in China): this is due to several constructional and morphological factors, which favour higher temperatures, including the width of roads, which in some places reaches up to 40 meters, resulting in dark-coloured asphalt surfaces (reflectance of 0.1).

It is also interesting to note that when the envelope's thermal transmittance is lower, as in the U.S. case, there is a decoupling between the building's interior and exterior thermal conditions; this leads to an increase in the envelope's exterior surface temperatures and, as a result, a slight increase in the surrounding exterior air temperature.

The second stage of the methodology aims to relate extreme thermal phenomena to thermal comfort. The hottest days in the three case studies are analysed: August 25 in Rome, with peaks of 40 °C and relative humidity of 24%; June 19 in San Antonio, with temperatures reaching 40°C and relative humidity of 26%; and August 13 in Suzhou, with temperatures reaching 35.5 °C and relative humidity of 54%.

Direct solar radiation and sunshine hours are analysed for the three H/W ratios at the selected hottest days at the three sites. The orientation chosen is north-south: in the Quatticciolo neighbourhood of Rome and the Shuangta neighbourhood

of Suzhou, it can be seen that the hours of sunshine are reduced by the shade brought by the surrounding buildings, while in San Antonio the hours of sunshine are significantly higher as well as the direct solar radiation due to the reduced height of the buildings (Figg. 10-12).

Finally, the equivalent temperature is calculated, which measures the human physiological response to the thermal environment (UTCI index). The results show that in the U.S. case the range of hours in which 'extreme' heat stress occurs is greater than the other two case studies (Fig. 13). The cause is related to a very low H/W ratio of 0.5 and the resulting absence of shade brought by buildings; facades and streets are therefore exposed to direct solar radiation for more hours of the day. Overall, on the hottest day, for the three case studies, the exposure to human heat stress is classified as 'strong', 'very strong', or 'extreme' and is 9 hours per day. The results confirm the crucial role of solar radiation exposure: pedestrians absorb energy from surrounding surfaces and direct sun exposure.

Figure 14 shows the correlation between the impact of the reflectance of the envelope / road system and human comfort in the three climate contexts. Three different reflectance values were analysed: 0.2 for a very dark colour; 0.5 for an average reflective surface; and 0.8 for a 'cold material'. The UTCI index results show that the average temperature generally decreases, and thus, thermal stress generally is lower for higher reflectance values, and this trend is detectable in all three climate zones; this is especially true for the Italian area, where the UTCI difference between the extreme reflectance is about 1 °C.

The results provide evidence that increased outdoor thermal stress is influenced by combinations of the following factors: lower H/W values, envelope surfaces and roads with low solar reflectance, and highly insulated envelopes. Consequently, strategies to increase shading and the use of low-reflectance, preferably light-coloured enclosures, could prove to be key measures to ensure a high level of outdoor thermal comfort.

Conclusions | The paper illustrates a methodological approach based on developing a numerical tool for the physical modeling of urban microclimate phenomena and assessing individual outdoor comfort, analysing the possible interactions between different levels and scales of analysis. The ability to examine the physical interactions of the Human-Building-Outdoor Environment system enables the definition of an in-depth cognitive framework that becomes the design basis for the definition of inter-

ventions aimed at climate mitigation. In this context, the original profile of the methodological approach based on the interoperability between morpho-constructive and human comfort aspects is highlighted.

From this perspective, simulation and modeling can facilitate the definition of appropriate technological strategies to improve outdoor urban comfort and mitigate the causes of climate change in the built environment. In this context, the proposed numerical model emerges as a decision-support tool for technicians, public administrations and researchers in the field, facilitating analysis, understanding and innovative technological design in existing urban contexts. This approach is in line with the objectives of the NextGenerationEU⁶ and the NRRP – National Recovery and Resilience Plan (MIMIT, 2023).

Based on a parametric tool, the methodology allows its replicability to different urban contexts. The proposed algorithm focuses on analysing extreme thermal phenomena; however, integrating additional parameters and meteorological input data collected over time could allow for a more in-depth examination of the physical interactions between individuals, buildings, and the environment during other phenomena, such as heat waves. A future numerical implementation will allow various technological-environmental intervention strategies, such as the installation of vegetated facades or sun protection systems, to be tested and their effects on outdoor physical well-being evaluated simultaneously. Finally, further research focuses on contextualising building energy consumption and indoor comfort to correlate outdoor and indoor environmental conditions.

The building sector is today at the centre of a profound energy and socioeconomic transition aimed at reducing emissions, which is clearly manifested in the shift from a 'design of things' to a 'design of cycles' approach, redefining the idea of circularity that invests national and international policy planning to support the regeneration of urban areas. From this point of view, research enables a deeper understanding of the interactions between humans, buildings and the environment to develop intervention strategies and regeneration scenarios: such an approach to innovation, interpreted as a process for human well-being and climate mitigation, seeks to identify in the built environment the origins of innovative phenomena, models and methods for a new sustainable way of building.

Acknowledgements

The contribution is the result of a joint reflection and work of the Authors. The articulation, shared by each Author's contributions within the specific parts of the article, is structured as follows: the selection of study sites and pilot cases is to be attributed to F. Tucci and F. Nava; F. Nava carried out the surveys and in situ measurements under the supervision of F. Tucci; the development of the workflow and algorithm are to be attributed to R. Zarcone and F. Nava; the introductory and 'Numerical workflow for stress assess-

ment in outdoor space' sections are to be attributed to R. Zarcone; the 'Experimentation on three pilot cases' section is to be attributed to F. Nava and F. Tucci; the 'Results' paragraph is to be attributed to R. Zarcone and F. Nava; and the conclusions are to be attributed to F. Nava, R. Zarcone, and F. Tucci. All co-authors reviewed, shared and accepted the final version of the manuscript.

The research is part of the larger PRIN Research Project (Project of Significant National Interest) 'FASTECH – A model for rapid technological building retrofit to cut energy demand and GHG emissions of housing toward renewable

energy self-consumption and the smart energy communities' (Call 2022), Principal Investigator Prof. F. Tucci, and was specifically conducted as part of the Doctoral Thesis of F. Nava, with Supervisor F. Tucci and Co-Supervisors M. Cimillo, D. D'Olimpio and R. Zarcone, within the Doctoral Programme in Planning, Design, Technology of Architecture, Environmental Technological Design Curriculum coordinated by F. Tucci, at 'Sapienza' University of Rome. A part of the Thesis was carried out in collaboration with the Laboratoire GSA, directed by R. Zarcone at the École Nationale Supérieure d'Architecture (ENSA) de Paris-Mala-

quais, and was supported by the scholarship granted by Sapienza University of Rome entitled 'Joint and Individual Research Projects for the Mobility Abroad of Doctoral Students of the XXXVI and XXXVII cycles' – Decree No. 1806/2022, Prot. No. 0051574 of 31/05/2022, won by F. Nava with Scientific Referent Prof. F. Tucci.

Notes

- 1) The algorithm was developed on Rhinoceros / Grasshopper, and the plugins are Ladybug, Honeybee and Drag-onfly.
- 2) For more information, see the webpage: ladybug.tools/epwmap/ [Accessed April 12, 2024].
- 3) Information regarding the wall packages is derived from Territorial Company for Public Residential Construction of the Municipality of Rome (10/06/2021), Quarticcio district, Lot VII, Building No. 11, Building via Ugento No. 37 – General Report of the Final Project 'Intervento di restauro e risanamento conservativo – Accesso agli incentivi statali previsti dalla legge 17 luglio 2020, n. 77, superbonus 110 per cento per interventi di efficienza energetica e interventi antisismici', pp. 9 and 10.
- 4) Chicana culture refers to an ethnic group that is predominantly Hispanic and Mexican. It differs from other cultures in that it has some influences peculiar to American culture. First- or second-generation Mexican immigrants are part of this ethnic group. Chicana culture encompasses ways of behaving, art making, stereotypes of beauty, architecture, customs, and traditions that are different from American ones.
- 5) The data are extracted from the Annual Report 2022, provided by Prof. Y. Dong (Design School of the Xi'an Jiaotong-Liverpool University), entitled 'Safeguarding Heritage and Community of Shuangta Area'.
- 6) For information on NextGenerationEU, see the webpage: next-generation-eu.europa.eu/index_en [Accessed 15 April 2024].

References

- Abbass, K., Qasim, M. Z., Song, H., Murshed, M., Mahmood, H. and Younis, I. (2022), "A review of the global climate change impacts, adaptation, and sustainable mitigation measures", in *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 29, issue 28, pp. 42539-42559. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s11356-022-19718-6 [Accessed 12 April 2024].
- Accorsi, M. L. and Chiavoni, E. (eds) (2022), *Le piazze alberate del Quarticcio – Costruzione e percezione attraverso il percorso conoscitivo – Catalogo della mostra (Roma, 16/12/2022-20/04/2023)*, Edizioni Quasar, Roma. [Online] Available at: digital.casalini.it/10.48235/1012 [Accessed 12 April 2024].
- Aghamolaei, R., Azizi, M. M., Aminzadeh, B. and O'Donnell, J. (2023), "A comprehensive review of outdoor thermal comfort in urban areas – Effective parameters and approaches", in *Energy & Environment*, vol. 34, issue 6, pp. 2204-2227. [Online] Available at: doi.org/10.1177/0958305X221116176 [Accessed 12 April 2024].
- Błażejczyk, K., Broede, P., Fiala, D., Havenith, G., Holmér, I., Jendritzky, G., Kampmann, B. and Kunert, A. (2010), "Principles of the new Universal Thermal Climate Index (UTCI) and its application to bioclimatic research in European scale", in *Miscellanea Geographica*, vol. 14, issue 1, pp. 91-102. [Online] Available at: intapi.sciendo.com/pdf/10.2478/mgrsd-2010-0009 [Accessed 12 April 2024].
- Bröde, P., Fiala, D., Błażejczyk, K., Holmér, I., Jendritzky, G., Kampmann, B., Tinz, B. and Havenith, G. (2012), "Deriving the operational procedure for the Universal Thermal Climate Index (UTCI)", in *International Journal of Biometeorology*, vol. 56, pp. 481-494. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s00484-011-0454-1 [Accessed 12 April 2024].
- Bueno, B., Norford, L., Hidalgo, J. and Pigeon, G. (2013), "The urban weather generator", in *Journal of Building Performance Simulation*, vol. 6, issue 4, pp. 269-281. [Online] Available at: doi.org/10.1080/19401493.2012.718797 [Accessed 12 April 2024].
- Conato, F. and Frighi, V. (2020), "Progetto e complessità – Un approccio multiscale per attualizzare gli strumenti di controllo del progetto | Design and complexity – A multiscale approach for updating the project's control tools", in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 7, pp. 154-163. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/7162020 [Accessed 12 April 2024].
- da Costa Meyer, E. (2016), "Architectural history in the Anthropocene – Towards methodology", in *The Journal of Architecture*, vol. 21, issue 8, pp. 1203-1225. [Online] Available at: doi.org/10.1080/13602365.2016.1254270 [Accessed 12 April 2024].
- Di Giuseppe, E., Pergolini, M. and Stazi, F. (2017), "Numerical assessment of the impact of roof reflectivity and building envelope thermal transmittance on the UHI effect", in *Energy Procedia*, vol. 134, pp. 404-413. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.590 [Accessed 12 April 2024].
- Du, S., Zhang, X., Jin, X., Zhou, X. and Shi, X. (2022), "A review of multi-scale modelling, assessment, and improvement methods of the urban thermal and wind environment", in *Building and Environment*, vol. 213, article 108860, pp. 1-19. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.108860 [Accessed 12 April 2024].
- González-Campaña, J., Lafaurie-Debany, N. and Rabazo Martin, M. (2023), "Realizzare paesaggi innovativi – Balmori Associates ridefinisce il rapporto uomo-natura per le città del futuro | Making innovative landscapes – Balmori Associates redefining the human-nature relationship for the cities of the future", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 13, pp. 31-42. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1322023 [Accessed 12 April 2024].
- Ibrahim, Y. I., Kershaw, T. and Shepherd, P. (2020), "A methodology For Modelling Microclimate – A Ladybug-tools and ENVI-met Verification Study", in *35th Plea Conference Sustainable Architecture and Urban Design – A Coruña, Spain, 01/09/20-03/09/20*. [Online] Available at: doi.org/10.17979/spudc.9788497497947 [Accessed 12 April 2024].
- IPCC – International Panel of Climate Change (2023), *Climate Change 2023 – Synthesis Report – Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [Online] Available at: ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_SPM.pdf [Accessed 12 April 2024].
- Kandya, A. and Mohan, M. (2018), "Mitigating the Urban Heat Island effect through building envelope modifications", in *Energy and Buildings*, vol. 164, pp. 266-277. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.01.014 [Accessed 12 April 2024].
- Helliwell, J. F., Layard, R., Sachs, J. D. and De Neve, J.-E. (eds), *World Happiness Report*. [Online] Available at: happiness-report.s3.amazonaws.com/2020/WHR20.pdf [Accessed 12 April 2024].
- Lai, L.-W. and Cheng, W.-L. (2009), "Air quality influenced by urban heat island coupled with synoptic weather patterns", in *Science of The Total Environment*, vol. 407, issue 8, pp. 2724-2733. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.12.002 [Accessed 12 April 2024].
- Lewis, S. L. and Maslin, M. A. (2018), *The Human Planet – How We Created the Anthropocene*, Penguin Books, London.
- Lucarelli, M. T., Milardi, M., Mandaglio, M. and Musarella, C. C. (2020), "Fenomeni macro vs risposte micro – Approcci multiscolari nei rapporti dinamici tra involucro e contesto | Macro phenomena vs micro responses – Multi-scale approaches in the dynamic relationship between envelope and context", in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 7, pp. 26-33. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/732020 [Accessed 12 April 2024].
- Magliocco, A. and Oneto, G. (2023), "Configurazioni spaziali nell'analisi ambientale urbana – Il contributo dell'isola di calore | Spatial configurations in urban environmental analysis – The role of the heat island effect", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 14, pp. 216-223. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/14182023 [Accessed 12 April 2024].
- Migliari, M., Despax, J., Chesne, L. and Baverel, O. (2023), "Street albedos repartition's effects on urban heat island and outdoor thermal comfort", in Rajagopalan, P., Soebarto, V. and Akbari, H. (eds), *6th International Conference on Countermeasures to Urban Heat Islands (IC2UHI)*, pp. 1-10. [Online] Available at: researchgate.net/publication/377444256_Street_albedos_repartition%27s_effects_on_urban_heat_island_and_outdoor_thermal_comfort [Accessed 12 April 2024].
- MIMIT – Ministero delle Imprese e del Made in Italy (2023), *Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza*. [Online] Available at: mimit.gov.it/images/stories/documenti/PN-RR_Aggiornato.pdf [Accessed 12 April 2024].
- Muniz-Gaal, L. P., Pezzuto, C. C., de Carvalho, M. F. H. and Mota, L. T. M. (2020), "Urban geometry and the microclimate of street canyons in tropical climate", in *Building and Environment*, vol. 169, article 106547, pp. 1-12. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106547 [Accessed 12 April 2024].
- Olivieri, F. (2022), "Progettazione simbiotica per un ecosistema urbano resiliente | Symbiotic design for a resilient urban ecosystem", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 11, pp. 40-49. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1132022 [Accessed 12 April 2024].
- Perini, K., Chokhachian A., Dong S. and Auer, T. (2017), "Modeling and simulating urban outdoor comfort – Coupling ENVI-Met and TRNSYS by grasshopper", in *Energy and Buildings*, vol. 152, pp. 373-384. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.07.061 [Accessed 12 April 2024].
- Piracha, A. and Chaudhary, M. T. (2022), "Urban air pollution, urban heat island and human health – A review of the literature", in *Sustainability*, vol. 14, issue 15, article 9234, pp. 1-19. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su14159234 [Accessed 12 April 2024].
- Stavrakakis, G. M., Katsaprakakis, D. A. and Damasiotis, M. (2021), "Basic principles, most common computational tools, and capabilities for building energy and urban microclimate simulations", in *Energies*, vol. 14, issue 20, article 6707, pp. 1-41. [Online] Available at: doi.org/10.3390/en14206707 [Accessed 12 April 2024].
- Strømman-Andersen, J. and Sattrup, P. A. (2011), "The urban canyon and building energy use – Urban density versus daylight and passive solar gains", in *Energy and Buildings*, vol. 43, issue 8, pp. 2011-2020. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.04.007 [Accessed 12 April 2024].
- Tucci, F., Cecafosso, V., Altamura, P. and Giampaolletti, M. (2022), "Simulazione e modellazione per l'adattamento e la mitigazione climatica – Esperienze di riqualificazione ambientale a Roma | Simulation and modelling for climate adaptation and mitigation – Experiences of environmental renovation in Rome", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 12, pp. 106-121. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/12102022 [Accessed 12 April 2024].
- UN – United Nations (2015), *Transforming our World – The 2030 Agenda for Sustainable Development*, document A/RES/70/1. [Online] Available at: sdgs.un.org/2030agenda [Accessed 12 April 2024].
- Zarcone, R. (2021), "Built environment for hygiene and energy performances – A comparative analysis between studies at the turn of the 20th century and current literature", in Gambardella, C. (ed.), *World Heritage and Design for Health | XIX International Forum – Le Vie dei Mercanti*, Gangemi Editore Internazionale, Roma. [Online] Available at: cdn.gangemieditore.com/import/materialiVari/WORLD_HERITAGE_and_DESIGN_FOR_HEALTH_A_TTI.pdf [Accessed 12 April 2024].

ARTICLE INFO

Received	18 March 2024
Revised	20 April 2024
Accepted	27 April 2024
Published	30 June 2024

GREEN ROOM

Un dispositivo architettonico e urbano per l'efficientamento energetico e il comfort ambientale

GREEN ROOM

An architectural and urban device for energy efficiency and environmental comfort

Luigi Coccia, Sara Cipolletti, Gianmarco Corvaro

ABSTRACT

L'articolo presenta una sperimentazione progettuale svolta all'interno della ricerca PNRR VITALITY, fondata sui temi della sostenibilità e della qualità degli spazi di vita. Considerate le opportunità di innovazione espresse dalla transizione energetica, conseguita anche attraverso soluzioni rigenerative basate sulla natura, mirate alla riduzione dei consumi e delle emissioni di CO₂, la metodologia conduce all'ideazione del dispositivo spaziale multiscalare Green Room: azione di decremento volumetrico associata alla infiltrazione vegetale applicata su parti significative di edifici e spazio aperto in tre aree campione del medio-adriatico. A partire dai dati morfologici, tipologici e climatici e gestendo processi computazionali di simulazione, la sperimentazione mira ad un aggiornamento degli strumenti progettuali alla scala architettonica e urbana, ponendo in relazione indoor e outdoor, al fine di ottenere benefici sia sull'ambiente che sul benessere delle persone.

The article presents a design experiment conducted within the research PNRR VITALITY based on the issues of sustainability and the quality of living spaces. Considering the innovation opportunities expressed by the energy transition, also achieved through nature-based regenerative solutions, aimed at reducing consumption and CO₂ emissions, the methodology leads to the conceptualisation of the multiscalar spatial device Green Room: a volumetric decrement action associated with vegetative infiltration applied to significant parts of buildings and open spaces in three sample areas of the Adriatic-Mediterranean region. Starting from morphological, typological, and climatic data and managing computational simulation processes, the experiment aims to update design tools at the architectural and urban scale, establishing a relationship between indoor and outdoor spaces to achieve benefits for the environment and people's well-being.

KEYWORDS

transizione energetica, rigenerazione urbana, riqualificazione edilizia, greening, retrofit energetico

energy transition, urban regeneration, building upgrading, greening, energy retrofit

Luigi Coccia, Architect and PhD, is a Full Professor in Architectural and Urban Composition at the SAAD School of Architecture and Design of the University of Camerino (Italy). His research activities primarily focus on the territorialisation of urban and rural phenomena, investigating settlement and infrastructural themes about landforms. Mob. +39 329/26.09.994 | E-mail: luigi.coccia@unicam.it

Sara Cipolletti, Architect and PhD, is a Research Fellow in Landscape Architecture at the SAAD School of Architecture and Design of the University of Camerino (Italy). Her research activities mainly revolve around landscape architecture, investigating landscape transformations in urban and rural contexts, and exploring production, heritage, and leisure issues. Mob. +39 347/95.89.796 | E-mail: sara.cipolletti@unicam.it

Gianmarco Corvaro, Architect and PhD Candidate at the SAS School of Advanced Studies – International Doctoral School, Curriculum in Architecture, Theories, and Design, University of Camerino (Italy). His research activities primarily focus on landscape transformations produced by new renewable energy infrastructures, with particular emphasis on photovoltaic systems. Mob. +39 349/75.07.138 | E-mail: gianmarco.corvaro@unicam.it



Il progetto di ricerca PNRR VITALITY (Abruzzo-Marche-Umbria) – Ecosistema Innovazione, Digitalizzazione e Sostenibilità per l'economia diffusa nel Centro Italia¹ si occupa di migliorare la sostenibilità e la qualità di vita nell'era della transizione digitale, verde ed energetica, requisito che accomuna tutti i progetti PNRR, ed è volto a sviluppare e trasferire innovazione sia nelle aree urbane che nelle aree rurali al fine di rendere più competitivi i sistemi produttivi regionali.

All'interno di questo ampio contesto di ricerca, l'Università di Camerino affronta, attraverso le attività dello Spoke 6, il tema della 'sostenibilità degli ambienti di vita e del benessere della persona'²; in particolare il Work Package 1 pone al centro delle sperimentazioni della transizione digitale, verde ed energetica gli ambienti di vita interni ed esterni dei territori urbanizzati, i quali sono fortemente implicati nei processi di riqualificazione edilizia e rigenerazione urbana. Ragionando sugli effetti determinati dagli accelerati processi di antropizzazione che negli ultimi decenni hanno interessato vaste aree del territorio si prende atto che di fatto la sostenibilità è stata raramente perseguita: il soddisfacimento dei bisogni espressi dalle generazioni del recente passato ha decisamente compromesso quello delle generazioni del prossimo futuro.

Già 40 anni fa il Rapporto Our Common Future (UN, 1987) firmato da Brundtland dichiarava 'la sfida urbana' come centrale nel dibattito su ambiente e sviluppo. Gli habitat urbani sono infatti i contesti all'interno dei quali oggi si riscontrano maggiormente fenomeni quali: il sovraconsumo (inteso come utilizzo eccessivo delle risorse, soprattutto delle fonti fossili) sicuramente una delle cause principali della crisi ambientale, dell'innalzamento della CO₂ derivante dalla combustione e del riscaldamento globale; il degrado ambientale e il deterioramento dei centri urbani; gli effetti disastrosi dovuti ai cambiamenti climatici, tutti eventi estremamente connessi tra loro.

Secondo Brundtland le città del futuro dovranno mostrare grande capacità di produrre e gestire le proprie infrastrutture urbane, gli spazi, i servizi e gli alloggi, in un'ottica di sostenibilità sempre più connessa a quella dell'innovazione, poiché in molti casi questi obiettivi dovranno essere realizzati in condizioni di incertezza, di grandi difficoltà economiche e diminuzione delle risorse rispetto ai bisogni e all'aumento delle aspettative.

La relazione tra indoor e outdoor negli spazi dell'abitare diviene la chiave interpretativa e progettuale per una valutazione integrata degli spazi urbani e architettonici e per indirizzare strategie di intervento innovative sul patrimonio edilizio esistente, volte ad aumentare il comfort ambientale, l'efficiamento energetico e il benessere della persona. Nei processi di rigenerazione urbana e riqualificazione ambientale gli spazi indoor e outdoor vengono spesso indagati separatamente, con approcci che, anche se ispirati al miglioramento della qualità dell'abitare, non riescono a esplorare la complessità e l'interdipendenza delle diverse componenti. Ciò non favorisce lo sviluppo di soluzioni ideali per il raggiungimento degli obiettivi di prestazione ambientale e mitigazione climatica, sicurezza ed efficienza delle infrastrutture tecnologiche e risparmio energetico, tantomeno una lettura integrata di tutti questi aspetti (Tucci and Cefafosso, 2020).

Il presente contributo illustra alcuni risultati della ricerca PNRR VITALITY dello Spoke 6, Work Package 1, dell'Università di Camerino, che mira a un rinnovamento degli strumenti di indagine e di progetto nell'ottica di una auspicata rigenerazione architettonica e urbana. A partire dall'innovazione e dalla sostenibilità, paradigmi per la transizione digitale, verde ed energetica nei territori urbanizzati, il contributo esamina la relazione tra gli spazi indoor e outdoor, come condizione per la qualità e il benessere degli ambienti, giungendo alla predisposizione di alcune strategie progettuali per la riqualificazione del patrimonio abitativo esistente e dello spazio pubblico, indirizzate alla neutralità climatica in quanto contribuiscono alla riduzione della fabbisogno energetico e al risparmio dei consumi.

Perseguendo tale obiettivo, il contributo focalizza l'attenzione sul dispositivo progettuale della Green Room applicato alla scala architettonica e urbana e ne verifica l'efficacia in tre aree campione nel territorio medio-adriatico. Attraverso l'analisi di dati climatici e aspetti materici con l'ausilio di software di simulazione computazionale il contributo giunge a delineare alcuni scenari progettuali, esito della metodologia adottata, su cui si sviluppano le conclusioni.

Indoor e outdoor nella nozione di comfort e benessere degli spazi abitativi

Nel primo numero della rivista *Domus*, Giò Ponti (1928) utilizza la parola 'comfort' per esprimere un concetto ben più ampio di una esigenza di necessità, comodità e organizzazione di servizi e tecnologie a cui lo spazio dell'abitare deve rispondere. Ponti richiama la parola italiana 'conforto' che restituisce il senso di benessere che si realizza quando la casa offre al suo abitante la possibilità di 'aprirsi fuori', relazionarsi con l'esterno e di comunicare con la natura godendo di riposanti visioni.

Da ciò scaturiscono alcune 'invenzioni' dell'abitare: 'lo spazio della casa riesce all'aperto' con portici, verande, terrazze, balconi, logge, altane e belvedere; tali soluzioni si presentano come spazi filtro tra la casa e il mondo esterno, spazi estroversi che aggiungono qualità abitativa e permettono di introiettare artificialmente brandelli di verde, accogliere la luce, filtrare i raggi solari e proteggere dal freddo.

La ricerca sul rapporto indoor-outdoor coniuga dati ambientali, abitudini domestiche e sociali; gli sviluppi progettuali trovano un riscontro in contesti geografici e climatici specifici, come nel caso del bacino mediterraneo in cui alcuni riferimenti, ancorati alla tradizione, sono stati reinterpretati dalla cultura modernista (Barber, 2020; Serghides, 2010) che, sotto l'impulso di una maggiore richiesta di abitazioni, ha saputo integrare concetti spaziali e questioni igienico-sanitarie con l'ausilio di nuove tecnologie e materiali costruttivi.

All'interno di queste ricerche, oltre all'articolazione planimetrica e alla organizzazione distributiva degli ambienti, sono rivisitati alcuni elementi dello spazio abitativo come le coperture, l'attacco a terra, le superfici finestrate e le pareti verticali, che svolgono il ruolo non tanto di separazione ma di relazione con l'esterno mettendo in contatto l'uomo con il paesaggio e di conseguenza rinnovando il senso dell'abitare.

Terragni, Libera, Figini e Pollini sono solo alcuni tra gli architetti italiani del '900 che attraverso

le loro opere hanno sviluppato il tema dando spessore spaziale e profondità al piano della facciata mediante l'uso di griglie di ordine superiore o inferiore e di ritmi lineari, configurando tracciati che agiscono secondo corrispondenze geometriche semplici o complesse tra telai strutturali e sistemi di bucaure (Figini, 1950), disposte secondo logiche dettate dalla configurazione degli ambienti interni e dalle relazioni percettive con l'esterno (Coppetti, 2017).

Il rapporto tra interno ed esterno associato al tema dell'abitare svolge un ruolo centrale nella sperimentazione progettuale con approfondimenti su soluzioni basate sulla natura e sui sistemi passivi (Olgyay, 1981; Gangemi, 1994; Davidová, Barath and Dickinson, 2023; El-Hitami, Mahall and Serbest, 2023), sempre più orientati a sfruttare la radiazione solare, il controllo della luce, l'esposizione ai venti e l'introduzione e gestione di materiali vegetali, fino a valutare sistemi di sicurezza atti a preservare gli spazi domestici da intrusioni indesiderate.

La relazione tra indoor e outdoor è pertanto incaricata di incidere sulla qualità e sul benessere degli spazi di vita (Protasoni, 2020) e di riconfigurare l'organismo edilizio e le sue interazioni con lo spazio urbano, ponendosi a fondamento dei processi rigenerativi che puntano alla riqualificazione dell'esistente e del comfort abitativo anche nell'ottica della transizione energetica e del contrasto ai cambiamenti climatici.

La ricerca recepisce il concetto di 'in-between' associato ai luoghi nei quali si attuano le relazioni tra gli edifici e i contesti, tra gli elementi nuovi e preesistenti, tra le persone e gli spazi (Spirito, 2016); include inoltre il concetto di 'spazio intermedio' che offre una chiave di lettura dello spazio tra dimensione privata e dimensione pubblica (Bassanelli, 2015) e conduce all'approfondimento dell'idea di pertinenza e di interstizio per una neutralità climatica (Tucci, Altamura and Pani, 2023), definizioni che si traducono in segni architettonici: un salto di quota, un trattamento della superficie, un elemento di delimitazione, una schermatura.

Indoor e outdoor nei processi di rigenerazione urbana e di efficientamento energetico

Gli architetti sono chiamati oggi ad affrontare progettualemente la crisi climatica e la scarsità delle risorse agendo su nuove costruzioni ma anche operando sul corpo della città, con interventi sul patrimonio edilizio esistente (Dixon et alii, 2014). A ciò sono stati indirizzati recenti Programmi di riqualificazione urbana sostenuti da incentivi economici, tra cui i bonus ristrutturazioni edilizie³: attraverso implementazioni impiantistiche e l'utilizzo di dispositivi 'epidermici', applicati prevalentemente alle facciate degli edifici, si è ottenuto un innalzamento della classe energetica dei fabbricati, ma raramente un incremento della qualità architettonica dello spazio domestico e ancor meno di quella urbana.

La comunità scientifica ha spesso sostenuto tesi decisamente più avanzate, ritenendo che per incidere sulla qualità dell'habitat antropizzato sia necessario intervenire «[...] non per sommatoria di interventi puntuali, come lo sono stati per decenni quelli, seppur virtuosi, alla scala dell'efficientamento di singoli edifici, ma in maniera sistematica sul tessuto urbano e su parti significative di esso» (Tucci and Cefafosso, 2020, p. 256). È indub-

bio che la riqualificazione sul singolo edificio generi un impatto positivo nell'ambiente circostante (Olivieri, 2022; Canovas and De Andrés, 2023), ma l'effetto sarebbe amplificato se l'azione progettuale coinvolgesse la dimensione pubblica, semi-pubblica e privata dello spazio.

La relazione tra indoor e outdoor torna ad essere fondamentale alla scala dell'edificio e alla scala urbana nei processi di rigenerazione urbana e riqualificazione edilizia rispetto a fenomeni che interessano le aree urbanizzate come quelli riguardanti i Cambiamenti Climatici (CC) e l'Isola di Calore Urbana (ICU), collegate al processo di transizione energetica.

Tra le principali cause che determinano i CC e l'ICU sono diffusamente riconosciute la densità edilizia, lo squilibrio tra spazio edificato e spazio aperto, la progressiva riduzione del verde nella città, le sempre più estese superfici asfaltate o cementificate che hanno un basso coefficiente di albedo e il calore antropogenico, derivante da tutte quelle attività umane quali il traffico veicolare e i processi di combustione e funzionamento degli impianti di riscaldamento e raffrescamento che richiedono un consistente fabbisogno energetico e disperdono calore nell'ambiente esterno (Chiesa and Palme, 2018).

Le sfide espresse dalle recenti ricerche scientifiche sulla mitigazione dei CC e dell'ICU non riguardano solamente l'individuazione di alcune buone pratiche esplicitate attraverso l'utilizzo di accorgimenti tecnologici capaci di produrre effetti positivi rilevabili, come la riduzione della temperatura in alcune aree critiche, ma anche la predisposizione di azioni di mitigazione climatica capaci al contempo di determinare qualità dello spazio interno ed esterno, privato e pubblico (Pone, 2021). Alla base di tali azioni si pone un sostanziale ripensamento del rapporto tra artificio e natura che indirizza una progettualità sempre più multidisciplinare, capace di integrare professionalità differenti e competenze specifiche verso il riequilibrio ambientale e la coesione sociale (Perini, Mosca and Giachetta, 2021).

Nell'ultimo decennio è cresciuto il riconoscimento del ruolo che può svolgere la natura nel risolvere un'ampia varietà di questioni riguardanti i processi di rigenerazione architettonica e urbana (Lepore, 2024; Sposito, 2022; Dessi et alii, 2018; Perini, 2013). Le Nature-based Solutions (NbS) sono azioni ispirate e supportate dalla natura che, opportunamente combinate, forniscono benefici ambientali, sociali ed economici all'interno dei contesti urbani, concorrendo ad aumentare la resilienza delle città (Clemente et alii, 2022). Le NbS potrebbero apportare miglioramenti anche sulle spazialità architettoniche urbane in chiave ecologica e sostenibile con un ripensamento del rapporto tra interno ed esterno: lo spazio esterno potrebbe essere assunto come proiezione dello spazio interno e la città sarebbe così riconfigurata come una sequenza di 'interni urbani', spazi appropriati alla persona e adeguati al vivere sociale, dotati di qualità, identità e unicità (Colombo, 2015; De Capua and Errante, 2019).

Solo a partire da una preliminare intenzione di rinnovare l'idea di spazio associato all'abitare, le diffuse sperimentazioni sui CC e sull'ICU, basate sulla comparazione tra dati microclimatici rilevati e dati microclimatici determinati dall'applicazione di dispositivi di mitigazione, assumono valenza ar-

chitettonica scongiurando un utilizzo meccanico e automatico delle NbS, pilotato dai software.

I temi del benessere e della salute riguardano la qualità architettonica e urbana e non solo una scelta delle più adatte soluzioni di mitigazione; per raggiungere questo obiettivo è necessario riconoscere specificità morfologiche dei luoghi e complessità dei molti scenari urbani che articolano la città contemporanea, in cui si sceglie di predisporre azioni di intervento (Pone, 2023). I criteri compositivi guidano la scelta oculata dei dispositivi da adottare, la modalità di trattamento delle superfici, la disposizione degli elementi in funzione delle peculiarità di ogni sito e dei servizi presenti in loco; tutto ciò viene criticamente valutato prima di elaborare un progetto di mitigazione climatica (Perini, Mosca and Giachetta, 2021).

Approccio metodologico | La metodologia assume un ruolo centrale nello studio intrapreso, basandosi sul confronto interdisciplinare interno al gruppo, sull'acquisizione di dati urbani e climatici e sulla loro interpretazione, sull'elaborazione progettuale come opportunità di sperimentare soluzioni attraverso le quali valutare criticamente gli esiti dei dispositivi adottati.

L'indagine focalizza l'attenzione su tre distinti contesti urbani del medio-adriatico che si offrono come aree campione, espressione di possibili situazioni ricorrenti all'interno dei territori antropizzati che comprendono tessuti urbani consolidati e tessuti urbani di recente formazione caratterizzati da una differente densità edilizia (Fig. 1). Le tre aree campione sono state sottoposte a una preliminare indagine conoscitiva indirizzata all'approfondimento di due distinti fenomeni: il fenomeno urbano e il fenomeno microclimatico.

Le indagini tipologiche e morfologiche urbane hanno offerto spunti nel riconoscimento della struttura formale associata ai tre contesti presi in esame, che convergono nello studio esteso delle Local Climate Zone (LCZ), le quali intercettano i dati urbani più rilevanti per i cambiamenti climatici (Demuzere, Kittner and Bechtel, 2021). Le indagini climatiche hanno messo in luce variabili meteorologiche, parametri legati alla percezione del comfort, criticità e fluttuazioni durante le stagioni, anch'esse associate alle specificità contestuali. Ciò che accomuna queste due indagini, profondamente diverse, è la misurazione dei fenomeni indagati, mentre ciò che spinge la ricerca è la possibilità di mettere in relazione maggiormente i diversi fattori, urbani e climatici, per evidenziare le vulnerabilità, individuare unità urbane di intervento all'interno dei territori e verificare il progetto (Magliocco and Oneto, 2023).

Nei tre distinti contesti sono state rilevate le misure dello spazio chiuso e dello spazio aperto, gli indici di copertura, i materiali, la presenza del verde, la densità della popolazione e delle attività umane, ma anche le misure dello spazio abitativo dedotte dall'analisi tipologica degli edifici campione. Le misure climatiche sono rilevate in modo diretto e indiretto, da sistemi satellitari, come nel caso del Land Surface Temperature (LST), o da strumenti di simulazione, come l'Urban Weather Generator (Chiesa and Palme, 2018), e sono restituite attraverso mappature e diagrammi, elaborati in griglie, pixel cromatici dislocati sulle superfici prese in esame, associati a gradienti di temperatura.

Software di simulazione avanzati, come Envi-Met e Ladybug, sono stati impiegati per sviluppare analisi mirate alla valutazione del comfort termico, in particolare entro le tre unità spaziali specifiche, individuate nelle piazze parcheggio. I sistemi parametrici associano caratteristiche materiche, morfologiche e meteo-climatiche, verificano le scelte progettuali nello spazio aperto e alla scala dell'edificio, restituendo scenari ante e post.

L'indagine tipologica e morfologica è elaborata attraverso rappresentazioni planimetriche, piante, prospetti e sezioni dei fabbricati analizzati, disegni che mettono in luce una strutturazione dello spazio fissata anche in questo caso attraverso una griglia assunta come schema direttivo. La griglia è strumento di registrazione dei fenomeni analizzati ma anche dispositivo di indirizzo dell'azione progettuale; recependo le informazioni dedotte dall'indagine tipologica, morfologica e climatica, si costruisce la griglia di riferimento dedotta dall'edificio preso in esame ed estesa allo spazio aperto antistante. La griglia delimita i campi di azione, le unità di superficie, orizzontale e verticale, su cui operare progettualmente al fine di migliorare le qualità spaziali, architettoniche, urbane e ambientali: su di esse agiscono le NbS che producono effetti sul comfort indoor e outdoor.

I campi di azione, sanciti dalla tipologia edilizia e confermati dalla tipologia strutturale, mostrano la loro virtualità nella riqualificazione architettonica dell'edificio preso in esame; essi definiscono i punti di attivazione del dispositivo spaziale Green Room che agisce in tempi diversi con un progressivo coinvolgimento degli abitanti, partendo dallo spazio privato e propagando la sua azione sullo spazio pubblico, attraverso una sperimentazione progettuale che si mostra come un sistema aperto piuttosto che come una composizione chiusa.

Il dispositivo Green Room | Il dispositivo Green Room veicola una modalità di azione all'interno dei territori urbanizzati attivando un processo rigenerativo, inter-scalare e diffuso, ancorato alla specificità dei contesti topografici: la Green Room è concepita come uno spazio aperto, di sosta o di passaggio, in cui la vegetazione si insinua e attecchisce nelle cavità generate da un preliminare processo di sottrazione, un processo inverso a quello di incremento, auspicato dalle recenti politiche economiche nel settore dell'edilizia, come il Piano Casa⁴. La proposta di decremento volumetrico è supportata dal progressivo calo demografico attestato dalle rilevazioni del censimento permanente della popolazione e di conseguenza della riduzione dei componenti del nucleo familiare⁵ a fronte di una dimensione generosa delle unità abitative, risalenti per buona parte agli anni '60 e '70, che compongono il patrimonio edilizio oggetto di riqualificazione architettonica.

Il dispositivo applicato ai manufatti edilizi agisce sulle facciate, sulle pertinenze e sui tetti e produce spazi aperti abitabili, corti, patii, porticati, loggiati, conducendo a un innalzamento della qualità dello spazio domestico: gli edifici diventano porosi (Velardi, 1992) e accolgono cavità attraverso le quali la luce e l'aria, filtrati dalla vegetazione, penetrano negli spazi interni.

La Green Room è dunque un'estensione all'aperto dello spazio domestico, un microcosmo naturale, un giardino d'inverno, in grado, attraverso la vegetazione e strategie solari passive, di rea-

lizzare condizioni microclimatiche di benessere termoisometrico e risparmio energetico, migliorando il comfort offerto dal verde all'interno della casa (DeKay and Brown, 2014; DeKay and Tornieri, 2023): meno volume edilizio e più volume vegetale. Il dispositivo applicato alla morfologia urbana amplifica il processo di sottrazione di materia, da intendersi in questo caso come erosione strategica delle superfici impermeabili, manti di asfalto o cemento che hanno occultato il suolo (Coccia, 2005), rendendole permeabili. In questo caso l'effetto della Green Room si manifesta come ridisegno dello spazio aperto della città entro il quale si iscrive il sistema di stanze verdi private ricavate all'interno dei volumi edilizi.

Il processo erosivo e l'insinuazione del verde conducono a una progressiva dissoluzione degli oggetti all'interno dei contesti mettendo in crisi le tradizionali dicotomie interno-esterno, aperto-chiuso, figura-sfondo (Spirito, 2016).

The Green Room è il titolo di un'opera di Henri Matisse del 1916: un tavolino tondo con un vaso di fiori in primo piano su uno sfondo verde in cui pavimento e parete si confondono. Su questo sfondo si apre una finestra da cui spunta un'area verde che inquadra un esterno, ancora una entità contraddistinta dal colore verde, una tonalità diversa da quella utilizzata per l'interno, la stessa di quella del vaso sul tavolino. Nel 1947 Matisse dipinge The Red Room, in cui la composizione è la stessa,

cambiano i colori; il rapporto tra interno ed esterno è un tema ricorrente nella ricerca pittorica di Matisse. L'interno e l'esterno appaiono fusi l'uno nell'altro, il pittore può finalmente respirare dall'interno lo stesso profumo degli alberi dall'esterno. Dialogando con il frate Rayssiguier, Matisse afferma: «Prima, tra il mio atelier e l'esterno non c'era una continuità completa [...]. C'era una piccola sfasatura tra la natura e ciò che io facevo; ad esempio, io facevo il mare, ma mentre dipingevo non sentivo l'odore del mare» (cit. in Tazartes, 2004, p. 166); adesso non c'è più nessuna sfasatura tra interno ed esterno perché l'artista, mentre dipinge, si identifica totalmente nella natura e può respirare la sua atmosfera. La sperimentazione progettuale

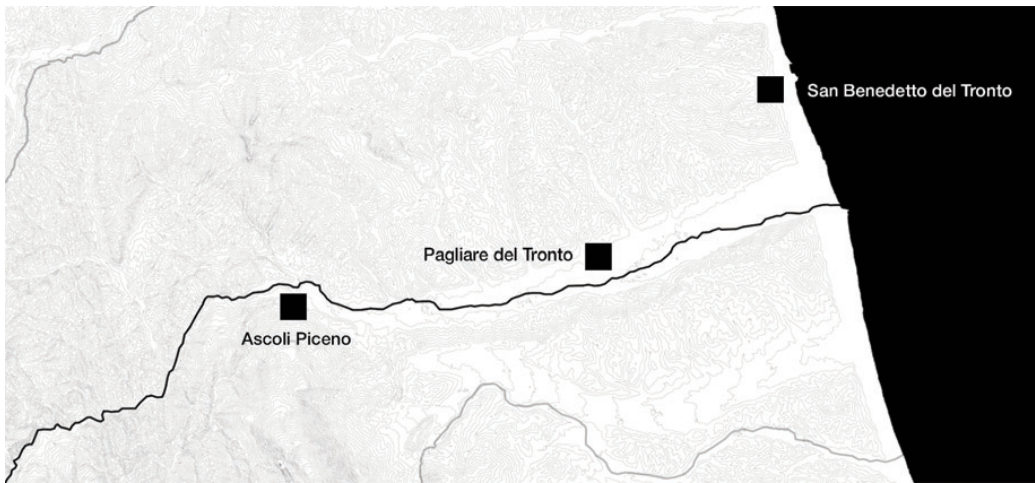


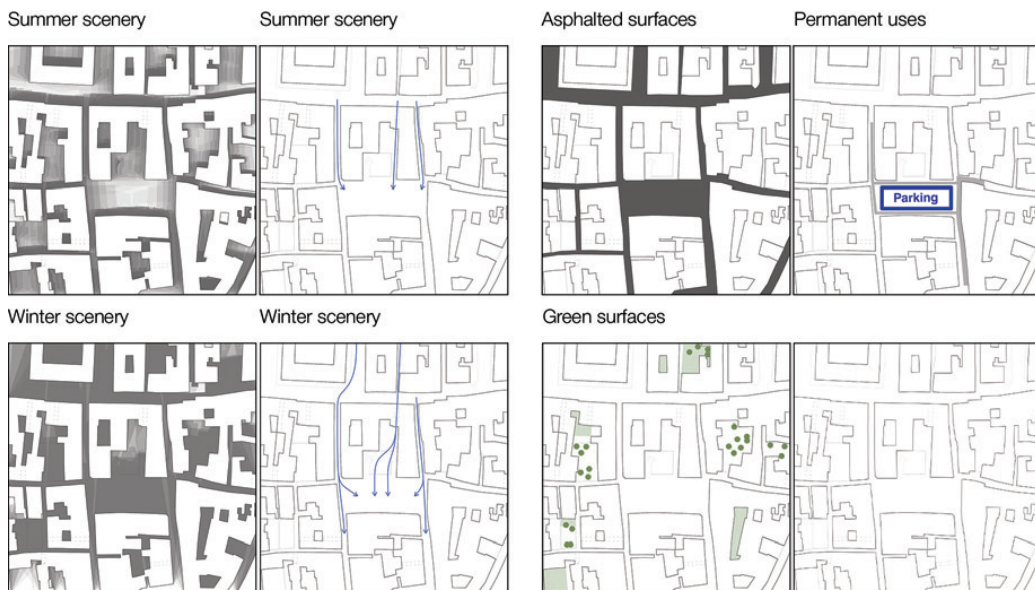
Fig. 1 | Territorial framework of the Valle del Tronto and identification of the study areas (credit: the Authors, 2024).

Fig. 2 | Study areas: Piazza della Viola in Ascoli Piceno, Piazza Kennedy in Pagliare del Tronto, and Piazza Marche in San Benedetto del Tronto (credit: the Authors, 2024).

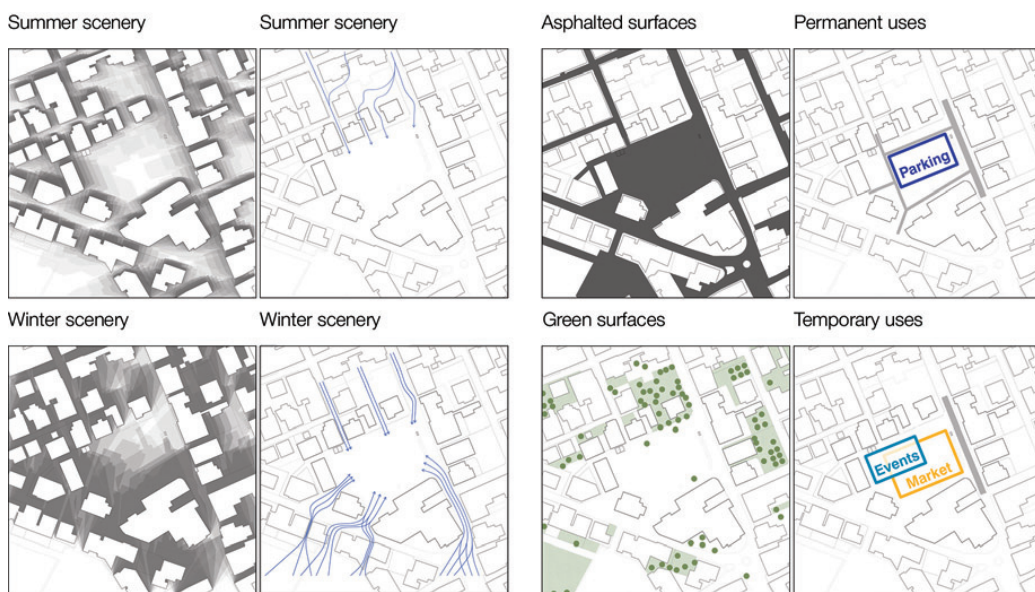
Fig. 3 | Views of the study areas (credit: the Authors, 2024).



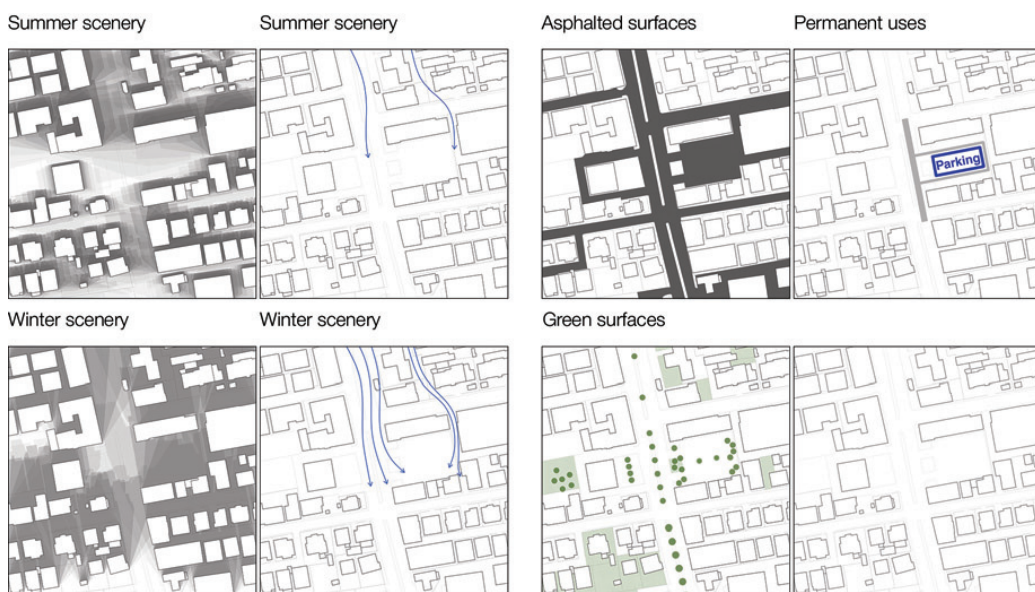
1.



2.



3.



le si avvale di vari riferimenti e tra questi le opere d'arte contribuiscono ad ampliare l'immaginario; sul tema della Green Room la ricerca pittorica condotta da Matisse ha consentito di comprendere le potenzialità del dispositivo proposto nella rigenerazione architettonica e urbana.

Casi studio e sperimentazioni progettuali | I tre contesti spaziali, assunti come casi studio, coincidono con tre piazze parcheggio localizzate in tre distinti ambiti territoriali urbani dislocati lungo l'asse fluviale del fiume Tronto nel territorio medio-adriatico. All'interno di un insediamento diffuso che coinvolge la fascia costiera e propagandosi nelle vallate trasversali al mare raggiunge i nuclei storici, questi tre contesti spaziali, pur nella loro specificità, presentano caratteri di generalità. La piazza parcheggio ricorre nella metropoli diffusa medio-adriatica e assume connotazioni differenti nei contesti urbani consolidati, localizzati prevalentemente nell'entroterra, e in quelli di recente formazione, localizzati nelle aree di fondovalle e lungo la costa.

Le criticità architettoniche e climatiche rilevate nelle tre aree studio e le sperimentazioni progettuali condotte, opportunamente comparate, offrono spunti di riflessione nei processi di rigenerazione architettonica e urbana (Figg. 2, 3).

Il primo caso studio è Piazza della Viola nel Centro storico di Ascoli Piceno, il secondo è Piazza Kennedy a Pagliare del Tronto, il terzo è Piazza Marche a San Benedetto del Tronto. I tre contesti urbani sono stati indagati rispetto a struttura morfologica, attività antropiche e microclimatiche (Fig. 4). Ascoli Piceno è una città segnata da un tessuto storico ancorato alla fondazione risalente all'età romana; Pagliare del Tronto è un piccolo insediamento di recente formazione disposto nel fondovalle in prossimità di uno svincolo infrastrutturale; San Benedetto del Tronto è una città costiera che si è sviluppata a partire dal secondo dopoguerra.

Al fine di sperimentare il comfort outdoor e indoor, l'azione progettuale nei tre casi studio agisce sullo spazio aperto della piazza e sullo spazio chiuso di un edificio campione, opportunamente selezionato, su di essa prospiciente (Fig. 5). In ciascuno dei casi studio le due entità spaziali, la piazza e l'edificio, non instaurano relazioni reciproche (non sono stati concepiti all'interno di un progetto urbano coerente e tantomeno unitario) ma si mostrano come fatti autonomi: gli edifici, a prevalente destinazione residenziale, ricalcano tipologie locali ricorrenti, mentre le piazze si presentano come vuoti urbani, spazi sottratti alla edificazione.

Pur nelle differenti connotazioni degli ambiti contestuali che li accolgono, indubbiamente più marcate nell'area del centro storico e meno nelle aree del fondovalle e della costa, i tre casi studio mostrano caratteri di generalità e sono assunti come campo di sperimentazione per la messa a punto di una possibile strategia di rigenerazione architettonica e urbana.

Ad Ascoli Piceno la griglia si ancora alla strut-

Fig. 4 | Analysis of the open space of Piazza della Viola (1) in Ascoli Piceno, Piazza Kennedy (2) in Pagliare del Tronto, and Piazza Marche (3) in San Benedetto del Tronto: shadows, winds, materials, and uses (credit: the Authors, 2024).

tura del Palazzo Bonaccorsi in cui si prevedono piccoli interventi di riqualificazione energetica (Fig. 6). Oltre alla realizzazione di un androne passante tra Via dei Bonaccorsi e Piazza della Viola, si prevede una Green Room al secondo livello del palazzo trasformando una camera stretta e lunga in una serra bioclimatica a doppia altezza che metta in relazione l'appartamento con il lastrico solare. La griglia disegna lo spazio aperto della piazza definito da una sovrapposizione di placche matericamente differenziate, una delle quali, lievemente ruotata e depressa, si presenta come un frammento di bosco nel centro storico, uno spazio che contribuisce a mitigare la temperatura elevata dello spazio aperto (Tzortzi and Lux, 2022).

A Pagliare del Tronto la griglia è scaturita dall'analisi di un fabbricato che insiste su Via Alcide de Gasperi e si affaccia sulla Piazza Kennedy (Fig. 6). L'edificio è contraddistinto da un telaio in cemento armato e si presta a un esercizio di sottrazione volumetrica per la realizzazione di Green Room. La geometria della griglia, dedotta dall'analisi del fabbricato, si estende alla piazza antistante che conserva la sua vocazione originaria, quella di essere uno spazio adibito a parcheggio ma anche destinato a mercato settimanale e a ospitare eventi. Sulla piazza si attiva un processo di rimozione del manto di asfalto e di messa in luce del suolo occultato.

La griglia genera campi, superfici matericamente differenziate: pavimentazioni chiare determinano un innalzamento dell'albedo; tappeti verdi svolgono un ruolo drenante per le acque meteoriche; alberature ad alto fusto ombreggiano lo spazio aperto. Un pergolato e un terrapieno boschivo, oltre che definire le aree di passaggio e di sosta, agiscono ancora come dispositivi climatici.

A San Benedetto del Tronto la sperimentazione coinvolge un imponente edificio residenziale che si attesta ancora sulla piazza parcheggio (Fig. 6). Anche qui la griglia è determinata dalla scansione strutturale del fabbricato entro la quale si iscrivono i campi interessati dalla sottrazione volumetrica per la realizzazione di Green Room. Ulteriori campi della facciata, su cui si registra un forte irraggiamento solare, sono rivestiti da un involucro in doghe di legno; altri campi sono rivestiti dalla vegetazione. La geometria di questa ossatura rigenerativa viene riproposta nel disegno della piazza che è immaginata come una grande placca che si solleva dal suolo divenendo copertura di un parcheggio ipogeo. Sull'estradosso della copertura un riparto di terra determina una bolla vegetale che contribuisce a mitigare la temperatura della piazza. Dal parcheggio sottostante l'aria rinfrescata viene canalizzata nei vani scala producendo una mitigazione climatica degli spazi indoor. Un ulteriore elemento bioclimatico è definito dal tetto verde e da un pergolato che concorrono a definire uno spazio semi pubblico sulla sommità del fabbricato.

Le tre proposte progettuali descritte sono il risultato di una sperimentazione più ampia che ha portato alla elaborazione di diversi scenari: per ogni area studio sono state sviluppate e comparate tre soluzioni possibili. La coerenza tipologica e morfologica di ciascuna soluzione e i benefici bioclimatici ottenuti dall'applicazione dei dispositivi adottati hanno condotto alla scelta dei tre progetti presentati.

Casi studio e verifiche degli scenari | Le verifi-

che condotte si sono mostrate significative: la valutazione del livello di comfort termico outdoor, attraverso l'Indice Universale del Clima Termico (UTCI – Universal Thermal Climate Index), permette di stimare il comfort fisiologico in funzione degli scambi termici derivanti dalle caratteristiche climatiche, materiche e geometriche del sito, consentendo di identificare le condizioni termiche sfavorevoli e di valutare l'efficacia delle strategie di progetto. Le simulazioni sono state effettuate considerando le variabili climatiche di un giorno rappresentativo dei tre contesti analizzati, tra quelli più critici, in un periodo di osservazione di 5 anni, al fine di recepire la risposta microclimatica di discomfort termo-igrometrico sia per lo scenario estivo che per quello invernale.

Il software Envi-met ha generato le rappresentazioni dettagliate dello stato attuale e gli scenari confermano la vulnerabilità delle piazze parcheggio. Queste aree si sono rivelate critiche all'interno del contesto urbano a causa delle condizioni termiche estremamente avverse, con valori di UTCI che raggiungono indici di sensazione termica percepita anche di 36 °C (Fig. 7).

La valutazione dell'impatto delle proposte di intervento sul comfort termico dell'area garantisce una mitigazione della temperatura percepita, grazie alle operazioni di erosione del manto di copertura e di trattamento vegetale del suolo emerso, su cui sono state piantate nuove specie arboree per l'ombreggiamento, e di sostituzione delle pavimentazioni esistenti attraverso l'uso di materiali con maggiore albedo al fine di ridurre l'assorbimento di calore. Per la verifica del comfort alla scala edilizia con il software Ladybug sono stati valutati gli scenari estivi e invernali pre e post progetto su tre edifici campione, collocati nelle aree oggetto di studio, la cui esposizione è risultata più svantaggiosa (Fig. 8).

I software di simulazione ambientale sono stati utilizzati separatamente non considerando i benefici reciproci e quelli legati a ombreggiamento sugli edifici ed evapotraspirazione di piante e alberi; pertanto le simulazioni sottostimano le condizioni di comfort indoor e outdoor, raggiungibili con il dispositivo della Green Room.

Nel caso studio di Ascoli Piceno, è stata effettuata la scelta della serra bioclimatica, un volume a doppia altezza che occupa la sommità del fabbricato. Questo dispositivo è stato pensato con l'obiettivo di catturare e immagazzinare la radiazione solare, in modo che durante l'inverno, la struttura funga da serra solare e rilasci gradualmente energia all'interno dell'edificio, contribuendo a mantenere una temperatura confortevole; durante la stagione estiva la presenza della vegetazione all'interno della serra gioca un ruolo fondamentale nel ridurre l'impatto delle radiazioni solari dirette sull'edificio, comportando un netto miglioramento delle condizioni di comfort ambientale all'interno dell'abitazione.

Nel caso studio di San Benedetto si è valutata l'efficacia delle strategie passive per sfruttare l'energia solare sull'edificio nel periodo invernale attraverso le stanze verdi, che fungono da magazzini termici: la comparazione tra lo stato ante e post-intervento evidenzia un accumulo di calore che si crea nelle Green Room di progetto, il quale viene conservato e distribuito in modo controllato negli spazi abitativi. Nel periodo estivo il comfort ambientale viene raggiunto non solo attraverso le

Green Room ma anche con apposite schermature che proteggono l'edificio dall'irraggiamento solare diretto.

Nel caso studio di Pagliare del Tronto si è considerata l'opzione di sottrarre volume sulla facciata di un fabbricato la cui esposizione è risultata piuttosto critica. Questa decisione è stata presa con l'obiettivo di ridurre l'irraggiamento solare durante la stagione estiva, contenendo il surriscaldamento. La Green Room interna all'edificio e i processi di erosione vegetale estesi nello spazio aperto integrati insieme contribuiscono a mitigare le condizioni di discomfort.

Conclusioni | Il rapporto tra indoor e outdoor, sia alla scala dell'edificio che a quella urbana, è una chiave interpretativa che si mostra efficace per innovare le analisi interpretative e i dispositivi progettuali volti al benessere degli spazi di vita e alla rigenerazione dei territori antropizzati, vulnerabili ai cambiamenti climatici e all'isola di calore urbano. La metodologia sperimentata si inserisce nel dibattito scientifico attuale poiché spinge a indagare, in modo integrato, i fenomeni urbani e climatici e a esplorare soluzioni generali e specifiche al tempo stesso, comunque conformate ai contesti locali. Partendo da una analisi tipo-morfologica di tre territori presi in esame e da uno studio del comportamento energetico di un edificio campione nonché delle condizioni microclimatiche dello spazio aperto (piazza parcheggio) su cui esso insiste, è possibile prefigurare nuovi scenari architettonici e urbani avvalendosi del supporto delle tecnologie digitali. Al fine di migliorare le prestazioni degli spazi e i benefici da essi offerti in termini di qualità della vita, benessere e salute degli abitanti, la sperimentazione progettuale si avvale di azioni ispirate e supportate dalla natura.

Le analisi dell'UTCI e le simulazioni ambientali elaborate con il supporto del software Envi-met, nonché la verifica del comfort sugli edifici campione gestita dal software Ladybug, hanno prodotto risultati utili alla valutazione dello stato di fatto e di progetto per l'innalzamento della qualità climatica dello spazio indoor e outdoor.

L'impossibilità di gestire simultaneamente il comfort termico dello spazio esterno e di quello interno può essere ritenuta un limite per la ricerca incentrata sulla messa a punto del dispositivo Green Room, ma la possibilità di colmare questa carenza schiude a futuri sviluppi della ricerca stessa. È stato dunque necessario un doppio esercizio di calcolo, dello stato di fatto e di progetto, per ciascuna area studio, uno incentrato sullo spazio aperto e uno sullo spazio coperto, i cui esiti, non totalmente esaustivi e integrabili, sono stati comunque valutati e interpretati nella elaborazione progettuale. La proposta progettuale sviluppata per ciascuna area studio deve ritenersi quella ottimale tra le diverse soluzioni sperimentate e sottoposte a verifica del comfort climatico.

Un punto di forza della ricerca è espresso dall'intenzione di stabilire una distanza da un approccio progettuale automatico in cui la soluzione formale sia dedotta dai dati o generata dai software. Nell'intento di mitigare i cambiamenti climatici e innalzare la qualità degli ambienti architettonici e degli spazi urbani è necessario, per gli sviluppi futuri, un aggiornamento non solo dei software ma anche una revisione degli strumenti e dei metodi su cui si fonda la cultura progettuale a partire da

un rinnovamento dello spazio architettonico tra tipologia edilizia e morfologia urbana e, in modo specifico, tra spazio privato e spazio pubblico (Fig. 9).

Il dispositivo Green Room sperimentato nelle tre aree del territorio medio-adriatico può essere applicato anche in altri contesti in cui la vegetazione, infiltrandosi nello spazio privato e propagandosi nello spazio pubblico, sia in grado di innescare un processo rigenerativo della città esistente concorrendo alla mitigazione e all'adattamento ai cambiamenti climatici. La 'piazza parcheggio' è una figura spaziale reiterata in diversi territori urbanizzati, investiti dalla seconda metà del Novecento in poi da profonde trasformazioni sociali ed economiche, che hanno depositato sui suoli spazi con scarsa qualità e varietà dei materiali, ideati senza una visione progettuale in dialogo con i manufatti edilizi che circoscrivono l'ambiente e con una presenza delle auto in sosta, tutti caratteri facilmente rintracciabili che ne determinano l'individuazione.

Per il futuro della ricerca il dispositivo della Green Room potrà essere sperimentato anche in una visione sistemica maggiore, che coinvolga e assimili più di un episodio di infiltrazione vegetale e decremento volumetrico nei tessuti urbanizzati presi in esame o che agisca in altri elementi strutturanti lo spazio aperto in relazione al costruito, come nel caso delle geometrie lineari delle strade.

È stato dimostrato che le piante e gli alberi possono aiutare a contenere l'aumento delle temperature che negli ultimi anni si è registrato nelle aree urbane; quindi piantare alberi e arbusti, introdurre siepi o realizzare tetti e pareti verdi producono benefici ai fini della regolazione delle temperature e dei consumi energetici (Ferrini and Del Vecchio, 2021). Trees for Cities è una campagna lanciata dalla FAO nel 2018 e il tema dell'inverdimento dei territori antropizzati è al centro del dibattito⁶: la natura, se reintrodotta nella città, può agire in modo efficace, performante e persino meno oneroso di altre soluzioni nel ridurre l'impatto dei cambiamenti climatici, nel contenimento del consumo energetico e nel rendere l'ambiente urbano più resiliente (Dessi et alii, 2018; Ferrini and Gori, 2021). Ma per gli sviluppi di queste tesi si richiede una progettualità compositiva-architettonica e tecnologico-climatica, come dimostrato nella trattazione dell'articolo incentrato sulla sperimentazione del nuovo dispositivo spaziale Green Room, in grado di attivare congiuntamente e coerentemente una rigenerazione architettonica e urbana.

All'interno di una visione ecologica e ambientale connessa alla transizione energetica il progetto architettonico e urbano si adegua ma non perde la sua innata vocazione, ossia il suo essere fondamentalmente una pratica intellettuale, un pensiero tradotto in forma, un esercizio conoscitivo e creativo al tempo stesso che, pur avvalendosi di sistemi parametrici, dati e software di simulazione, si muove all'interno di un ampio immaginario culturale, fonte di ispirazione, come dimostrato dai richiami all'architettura e all'arte: la Green Room di Matisse ha offerto spunti di riflessione sulla interazione tra interno ed esterno e sulla sperimentazione della soglia ripensando al concetto di limite fisico e mentale dello spazio.

ization, and Sustainability for the Widespread Economy in Central Italy¹ focuses on improving sustainability and quality of life in the era of digital, green, and energy transition, a requirement shared by all PNRR projects. It aims to develop and transfer innovation in urban and rural areas to make regional production systems more competitive.

Within this broad research context, the University of Camerino addresses, through the activities of Spoke 6, the theme of 'sustainability of living environments and individual well-being'²; in particular, Work Package 1) places at the centre of the experiments the digital, green, and energy transition of the indoor and outdoor living environments of urbanised territories, which are heavily involved in building redevelopment and urban regeneration processes. Reflecting on the effects determined by the accelerated anthropisation processes that have affected vast areas of the territory in recent decades, it is noted that sustainability has rarely been pursued: meeting the needs expressed by past generations has decidedly compromised those of future generations.

Forty years ago, the Our Common Future Report (UN, 1987) signed by Brundtland declared 'the urban challenge' as central in the debate on environment and development. Urban habitats are indeed the contexts within which phenomena such as overconsumption (understood as excessive use of resources, especially fossil fuels) are most evident, undoubtedly one of the main causes of the environmental crisis, CO₂ emissions from combustion, and global warming; environmental degradation and deterioration of urban centres; and disastrous effects due to climate change, all events highly interconnected.

According to Brundtland, the cities of the future must demonstrate the remarkable capacity to produce and manage their urban infrastructures, spaces, services, and housing with an increasingly sustainable perspective connected to that of innovation since, in many cases, these goals must be achieved under conditions of uncertainty, great economic difficulties, and decreasing resources compared to needs and increasing expectations.

The relationship between indoor and outdoor spaces in living environments becomes the interpretative and design key for an integrated evaluation of urban and architectural spaces and to direct innovative intervention strategies on existing building stock to increase environmental comfort, energy efficiency, and individual well-being. In urban regeneration and ecological redevelopment processes, indoor and outdoor spaces are often investigated separately, with approaches that, even if inspired by improving living quality, must explore the complexity and interdependence of the different components. This does not favour the development of ideal solutions for achieving environmental performance and climate mitigation objectives, safety and efficiency of technological infrastructures, and energy savings, let alone an integrated reading of all these aspects (Tucci and Cecafozzo, 2020).

This contribution illustrates some results of the PNRR VITALITY research of Spoke 6, Work Package 1, of the University of Camerino, which aims at renewing investigation and design tools with a view to desired architectural and urban regeneration. Starting from innovation and sustainability, paradigms for digital, green, and energy transition in urbanised territories, the contribution examines the relation-

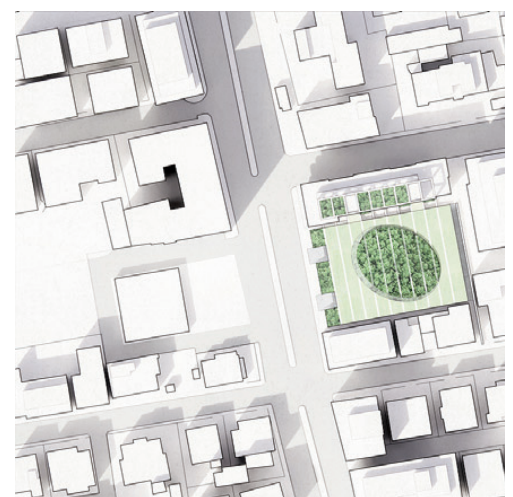
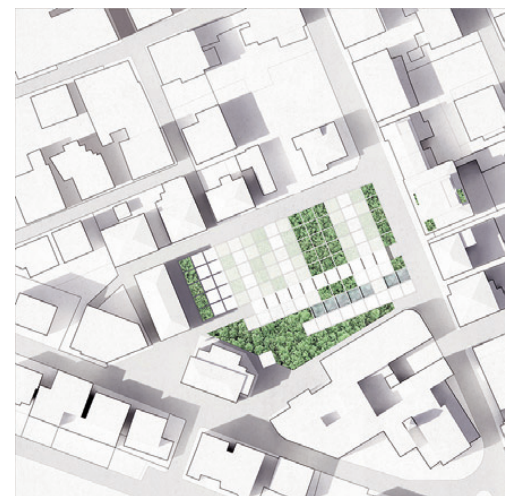
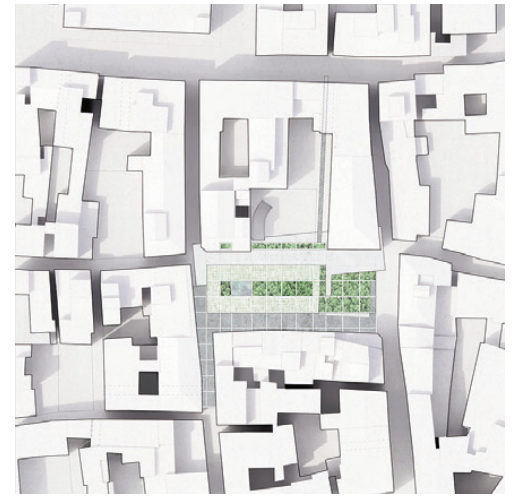


Fig. 5 | Planivolumetric representation of the three study areas (credit: the Authors, 2024).

Next page

Fig. 6 | Palazzo Bonaccorsi in Piazza della Viola (1) in Ascoli Piceno, Building in Piazza Kennedy (2) in Pagliare del Tronto, and Building in Piazza Marche (3) in San Benedetto del Tronto: comparison between the current state of affairs and project (credit: the Authors, 2024).

1.



2.



3.



ship between indoor and outdoor spaces as a condition for the quality and well-being of environments, leading to the preparation of some design strategies for the redevelopment of existing housing stock and public space, aimed at climate neutrality as they contribute to reducing energy demand and consumption savings.

Pursuing this objective, the contribution focuses on the design device of the Green Room applied at the architectural and urban scale and verifies its effectiveness in three sample areas in the Adriatic-Mediterranean region. Through the analysis of climatic data and material aspects with the aid of computational simulation software, the contribution delineates some design scenarios and the outcome of the adopted methodology on which the conclusions are developed.

Indoor and outdoor in the notion of comfort and well-being in living spaces

In the first issue of *Domus* magazine, *Giò Ponti* (1928) uses the word 'comfort' to express a concept much broader than a need for necessity, convenience and organisation of services and technologies to which the living space must respond. *Ponti* refers to the Italian word 'conforto', which conveys the sense of well-being achieved when the home offers its inhabitant the possibility to 'open up', relate to the outside, and communicate with nature while enjoying restful views.

This gives rise to several 'inventions' of living: 'the space of the house succeeds outdoors' with porches, verandas, terraces, balconies, loggias, altans and belvederes; such solutions present themselves as filter spaces between the house and the outside world, extroverted spaces that add to the quality of living and allow for the artificial introjection of shreds of greenery, welcoming light, filtering sunlight and protecting against the cold.

Research on the indoor-outdoor relationship combines environmental data and domestic and social habits; design developments are matched in specific geographic and climatic contexts, as in the case of the Mediterranean basin, where some references, anchored in tradition, have been reinterpreted by modernist culture (*Barber*, 2020; *Serghides*, 2010), which, under the impulse of increased demand for housing, has been able to integrate spatial concepts and sanitation issues with the help of new technologies and construction materials.

Within these researches, in addition to the planimetric articulation and distributive organisation of rooms, some elements of the living space such as roofs, ground attachment, window surfaces and vertical walls are revisited, which play the role not so much of separation but of relationship with the outside by putting people in contact with the landscape and consequently renewing the sense of living.

Terragni, *Libera*, *Figini* and *Pollini* are just some of the Italian architects of the 20th century who through their works developed the theme by giving spatial thickness and depth to the façade plane through the use of higher or lower order grids and linear rhythms, configuring paths that act according to simple or complex geometric correspondences between structural frames and systems of holes (*Figini*, 1950), arranged according to logics dictated by the configuration of the interior spaces and the perceptual relations with the outside (*Coppetti*, 2017).

The relationship between indoors and outdoors associated with the theme of living plays a central role in design experimentation with insights into nature-based solutions and passive systems (Olgyay, 1981; Gangemi, 1994; Davidová, Barath and Dickinson, 2023; El-Hitami, Mahall and Serbest, 2023), which are increasingly oriented toward harnessing solar radiation, light control, exposure to winds, and the introduction and management of plant materials, up to evaluating security systems designed to preserve domestic spaces from unwanted intrusions. The relationship between indoors and outdoors is therefore in charge of affecting the quality and well-being of living spaces (Protasoni, 2020) and reconfiguring the building organism and its interactions with the urban space, setting itself as the foundation of regenerative processes that aim at the redevelopment of the existing and living comfort also with a view to the energy transition and the fight against climate change.

The research incorporates the concept of 'in-between' associated with the places in which the relationships between buildings and contexts, between new and pre-existing elements, and between people and spaces are enacted (Spirito, 2016); it also includes the concept of 'in-between space' that offers a key to interpret space between private and public dimensions (Bassanelli, 2015) and leads to the deepening of the idea of pertinence and interstice for climate neutrality (Tucci, Altamura and Pani, 2023), definitions that are translated into architectural signs: a change in level, a surface treatment, a boundary element, a shielding.

Indoor and outdoor in urban regeneration and energy efficiency processes | Architects are currently challenged to address climatic crises and resource scarcity by acting on new constructions but also by intervening in the urban fabric and working on existing building stock (Dixon et alii, 2014). This has been the focus of recent urban redevelopment programs supported by economic incentives, including building renovation bonuses³. Through plant implementations and 'epidermal' devices, mainly applied to building facades, there has been an increase in the energy class of buildings, but rarely an increase in the architectural quality of domestic space, and even less in urban quality.

Yet, the scientific community has often argued decidedly more advanced theses, arguing that in order to impact the quality of the anthropised habitat, it is necessary to intervene «[...] not by summation of punctual interventions, as those, albeit virtuous, at the scale of the efficiency upgrading of individual buildings have been for decades, but in a systematic way on the urban fabric and significant parts of it» (Tucci and Cecafozzo, 2020, p. 256). It is undeniable that refurbishing individual buildings generates a positive impact on the surrounding environment (Olivieri, 2022; Canovas and De Andrés, 2023), but the effect would be amplified if the design action involved the public, semi-public and private dimensions of the space.

The relationship between indoors and outdoors remains fundamental at the building scale and the urban scale in urban regeneration and building redevelopment processes concerning phenomena affecting urbanised areas, such as those concerning Climate Change (CC) and Urban Heat Island (UHI), linked to the energy transition process. Among the leading causes that determine

CC and UHI are widely recognised to be building density, the imbalance between built and open space, the progressive reduction of green space in the city, the increasingly large asphalt or cemented surfaces that have a low albedo coefficient, and anthropogenic heat, resulting from all those human activities such as vehicular traffic and the processes of combustion and operation of heating and cooling systems that require substantial energy requirements and dissipate heat to the external environment (Chiesa and Palme, 2018).

The challenges posed by recent scientific research on CC mitigation and UHI do not only concern the identification of some best practices explicated through the use of technological devices capable of producing detectable positive effects, such as the reduction of temperature in some critical areas, but also the preparation of climate mitigation actions capable at the same time of determining the quality of indoor and outdoor space, private and public (Pone, 2021). Underlying these actions is a substantial rethinking of the relationship between artifice and nature that directs an increasingly multidisciplinary design, capable of integrating different professionalisms and specific skills toward environmental rebalancing and social cohesion (Perini, Mosca and Giachetta, 2021).

Recognition of the role that nature can play in solving a wide variety of issues concerning architectural and urban regeneration processes has grown over the past decade (Lepore, 2024; Spósito, 2022; Dessi et alii, 2018; Perini, 2013). Nature-based Solutions (NbS) are nature-inspired and nature-supported actions that, when appropriately combined, provide environmental, social, and economic benefits within urban contexts, contributing to increasing the resilience of cities (Clemente et alii, 2022). NbS could also bring improvements to urban architectural spatialities ecologically and sustainably by reaching a reconsideration of the relationship between interior and exterior: the external space could be taken as a projection of the interior space, and the city would thus be reconfigured as a sequence of 'urban interiors,' spaces appropriate to the person and adequate for social living, endowed with quality, identity and uniqueness (Colombo, 2015; De Capua and Errante, 2019).

Only starting from a preliminary intention to renew the idea of space associated with living, the widespread experiments on CC and UHI, based on the comparison between sensed microclimatic data and microclimatic data determined by the application of mitigation devices, assume architectural value by averting a mechanical and automatic use of NbS, driven by software.

Well-being and health issues concern architectural and urban quality and not only a choice of the most suitable mitigation solutions; to achieve this goal, it is necessary to recognise morphological specificities of places and complexities of the many urban scenarios that articulate the contemporary city, in which one chooses to prepare intervention actions (Pone, 2023). Compositional criteria guide the judicious choice of the devices to be adopted, the way surfaces are treated, and the arrangement of elements according to the peculiarities of each site and the services present on site; all this is critically evaluated before developing a climate mitigation project (Perini, Mosca and Giachetta, 2021).

Methodological approach | Methodology plays

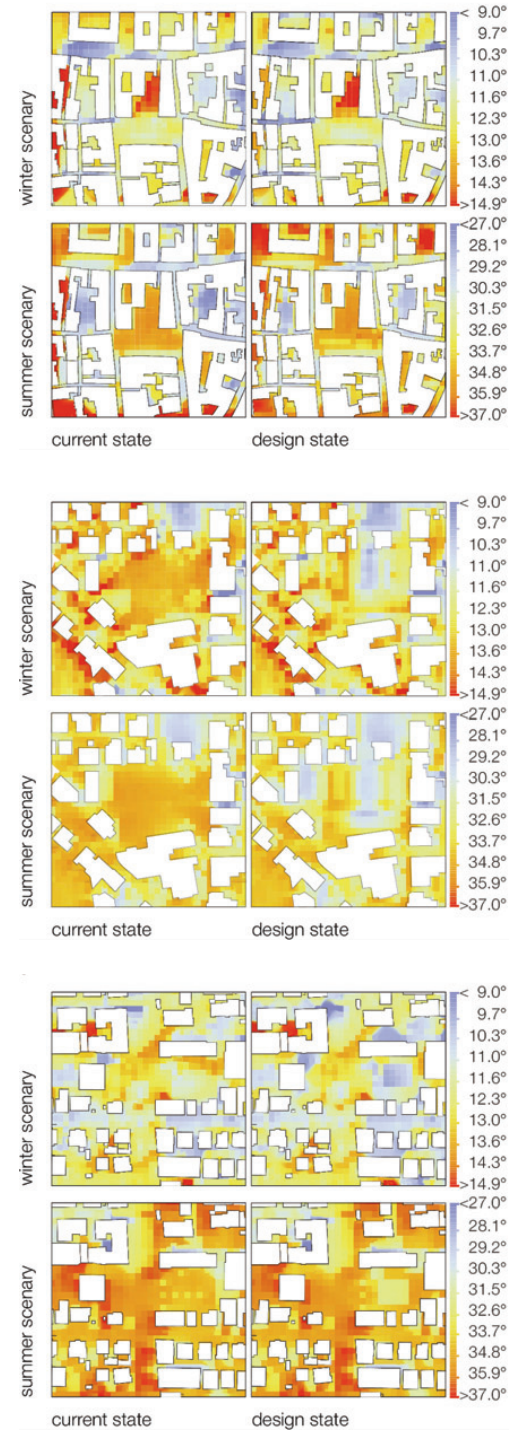
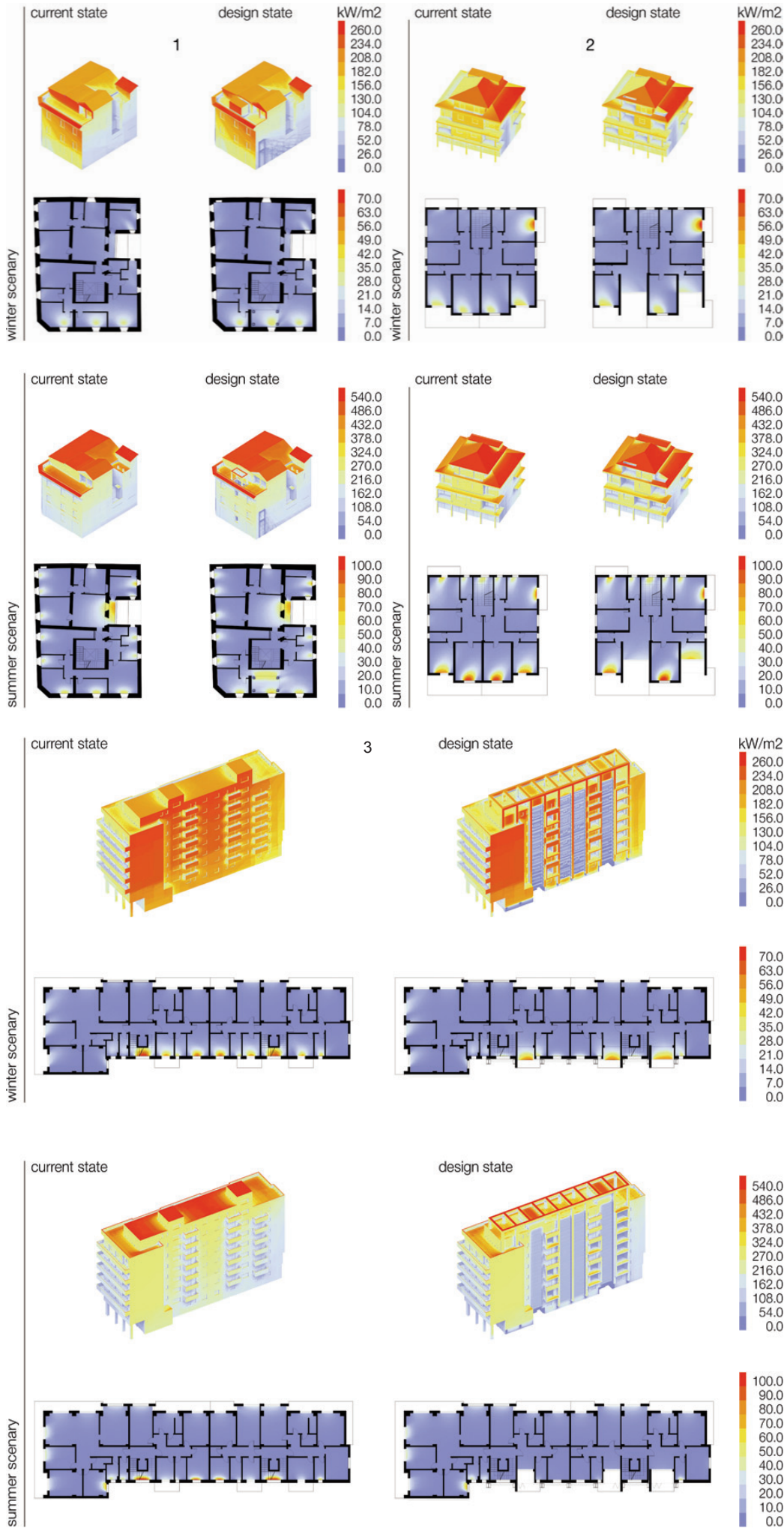


Fig. 7 | Microclimatic simulations of the open space of Piazza della Viola (1) in Ascoli Piceno, Piazza Kennedy (2) in Pagliare del Tronto, and Piazza Marche (3) in San Benedetto del Tronto: comparison between current and design state of the UTCI parameter (°C) at 14:00 on 10 January 2020 and 26 June 2020 (credit: the Authors, 2024).

Next page

Fig. 8 | Solar radiation analysis for Palazzo Bonaccorsi in Piazza della Viola (1) in Ascoli Piceno, Building in Piazza Kennedy (2) in Pagliare del Tronto, and Building in Piazza Marche (3) in San Benedetto del Tronto: comparison between current and design state of the UTCI parameter (°C) at 14:00 on 10 January 2020 and 26 June 2020 (credit: the Authors, 2024).



a central role in the study undertaken, relying on interdisciplinary discussion within the group, the acquisition of urban and climatic data and their interpretation, and design elaboration as an opportunity to test solutions to evaluate the adopted devices' outcomes critically.

The investigation focuses attention on three distinct urban contexts of the mid-Adriatic region that are offered as sample areas, expressing possible recurring situations within the anthropised territories that include established urban fabrics and newly formed urban fabrics characterised by different building density (Fig. 1). The three sample areas were subjected to a preliminary cognitive investigation directed to the in-depth study of two distinct phenomena: the urban phenomenon and the microclimatic phenomenon.

Urban typological and morphological surveys offered insights into the recognition of the formal structure associated with the three contexts examined, which converge in the extended study of Local Climate Zones (LCZs), which intercept urban data most relevant to climate change (Demuzere, Kittner and Bechtel, 2021). Climate surveys have highlighted meteorological variables, parameters related to the perception of comfort, criticality and fluctuations during the seasons, which are also associated with contextual specificities. What these two profoundly different surveys have in common is the measurement of the phenomena investigated, while what drives the research is the possibility of relating the different factors, urban and climatic, more closely in order to highlight vulnerabilities, identify urban units of intervention within territories and verify the design (Magliocco and Oneto, 2023).

Measures of enclosed and open space, coverage indices, materials, the presence of greenery, population density and human activities, as well as measures of living space deduced from the typological analysis of sample buildings, are surveyed in the three distinct contexts. Climate measurements are collected directly and indirectly, either from satellite systems, as in the case of Land Surface Temperature (LST), or from simulation tools, such as the Urban Weather Generator (Chiesa and Palme, 2018), and are returned through mappings and diagrams, processed into grids, chromatic pixels displaced on the surfaces surveyed, associated with temperature gradients.

Advanced simulation software, such as Envi-Met and Ladybug, has been used to develop analyses to assess thermal comfort, particularly within the three specific spatial units identified in the parking plazas. Parametric systems associate material, morphological, and weather-climate characteristics, verify design choices in the open space (at the building scale) and return ante and post scenarios.

The typological and morphological investigation is elaborated through planimetric representations, floor plans, elevations and sections of the analysed buildings, drawings that highlight a structuring of space also fixed, in this case, through a grid assumed as a directive scheme. The grid is a tool for recording the phenomena analysed but also a device for directing design action. Transposing the information deduced from the typological, morphological and climatic survey, the grid is constructed deduced from the building under consideration and extended to the open space in front of it. The grid delimits the fields of action, the surface units, horizontal and vertical, on which to operate design-wise

in order to improve spatial, architectural, urban and environmental qualities. Nature-based Solutions (NbS) act on them, producing indoor and outdoor comfort effects.

The fields of action, sanctioned by the building typology and confirmed by the structural typology, show their virtualities in the architectural redevelopment of the building under consideration; they define the activation points of the Green Room spatial device that acts at different times with progressive involvement of the inhabitants, starting from the private space and propagating its action on the public space, through a design experimentation that shows itself as an open system rather than a closed composition.

The Green Room device | The Green Room device conveys a way of acting within urbanised territories by activating a regenerative, inter-scaled and widespread process, anchored to the specificity of topographical contexts. The Green Room is conceived as an open space of rest or passage, in which vegetation insinuates itself and takes root in the cavities generated by a preliminary process of subtraction, an inverse process to that of increase, advocated by recent economic policies in the building sector, such as the Piano Casa⁴. The proposed volumetric decrease is supported by the progressive demographic decline attested by the permanent population census surveys and, consequently, the reduction of household members⁵ in the face of the generous size of the housing units, dating for the most part from the 1960s and 1970s, that make up the housing stock undergoing architectural redevelopment.

The device applied to the buildings acts on the facades, outbuildings and roofs and produces open habitable spaces, courtyards, patios, porches, and loggias, leading to an improvement in the quality of domestic space: buildings become porous (Velardi, 1992) and accommodate cavities through which light and air, filtered by vegetation, penetrate into interior spaces. The Green Room is thus an outdoor extension of the domestic space, a natural microcosm, a winter garden, capable, through vegetation and passive solar strategies, of creating microclimatic conditions of thermo-hygro-metric well-being and energy saving, improving the comfort offered by greenery inside the house (DeKay and Brown, 2014; DeKay and Tornieri, 2023): less building volume and more plant volume. The device applied to urban morphology amplifies the process of subtraction of matter, to be understood as the strategic erosion of impermeable surfaces, asphalt or concrete pavements that have concealed the soil (Coccia, 2005), making them permeable. In this case, the Green Room effect manifests itself as a redesign of the city's open space within which the system of private green rooms created within the building volumes is inscribed. The erosive process and the insinuation of greenery lead to a progressive dissolution of objects within contexts by undermining the traditional dichotomies of inside-outside, open-closed, figure-background (Spirito, 2016).

The Green Room is the title of a 1916 work by Henri Matisse: a small round table with a vase of flowers in the foreground against a green background in which floor and wall blend. Against this background is a window from which a green area emerges, framing an exterior, again an entity marked by the colour green, a different shade from that

used for the interior, the same as that of the vase on the small table. In 1947 Matisse painted *The Red Room*, in which the composition is the same, but the colours change; the relationship between inside and outside is a recurring theme in Matisse's pictorial research.

The inside and the outside appear to merge into each other, and the painter can finally breathe from the inside the same scent of the trees from the outside. Dialoguing with Brother Rayssiguier, Matisse says, «Before, between my atelier and the outside, there was no complete continuity [...]. There was a small mismatch between nature and what I was doing; for example, I was making the sea, but while I was painting, I could not smell the sea» (quoted in Tazartes, 2004, p. 166); now there is no longer any mismatch between inside and outside because the artist, while painting, identifies himself totally with nature and can breathe its atmosphere.

The design experimentation uses various references and works of art contribute to broadening the imagery; on the Green Room theme, Matisse's pictorial research provided insight into the potential of the proposed device in architectural and urban regeneration.

Case studies and design experimentation | The three spatial contexts, taken as case studies, coincide with three parking plazas located in three distinct urban territorial areas along the Tronto River shaft in the mid-Adriatic territory. Within a dispersed settlement that involves the coastal strip and propagating in the valleys transversal to the sea reaches the historic cores, these three spatial contexts, although in their specificity, present characters of generality. The parking square recurs in the diffuse mid-Adriatic metropolis and takes on different connotations in the consolidated urban contexts, located mainly inland and in those of recent formation, located in the valley floor areas and along the coast.

The architectural and climatic criticalities detected in the three study areas and the design experiments conducted, appropriately compared, offer insights into architectural and urban regeneration processes (Fig. 2, 3).

The first case study is Piazza della Viola in the old town of Ascoli Piceno; the second is Piazza Kennedy in Pagliare del Tronto; the third is Piazza Marche in San Benedetto del Tronto. The three urban contexts were investigated regarding morphological structure, human activities, and microclimatic conditions (Fig. 4). Ascoli Piceno is a city marked by a historical fabric anchored in the foundation dating back to the Roman age; Pagliare del Tronto is a small settlement of recent formation arranged in the valley bottom near an infrastructural junction; San Benedetto del Tronto is a coastal city that has developed since the Second World War.

In order to experiment with outdoor and indoor comfort, the design action in the three case studies acts on the open space of the square and the enclosed space of a suitably selected sample building facing it (Fig. 5). In each of the case studies, the two spatial entities, the square and the building, do not establish reciprocal relationships (they were not conceived within a coherent, let alone unified, urban design) but show themselves as autonomous facts: the buildings, predominantly residential, trace recurring local typologies, while the squares show themselves as urban voids, spaces removed from the building.

Despite the different connotations of the contextual environments that accommodate them, undoubtedly more pronounced in the old town area and less so in the valley bottom and coastal areas, the three case studies show characters of generality and are taken as a field of experimentation for the development of a possible strategy of architectural and urban regeneration.

In Ascoli Piceno, the grid is anchored to the structure of Palazzo Bonaccorsi where small energy redevelopment interventions are planned (Fig. 6). In addition to the construction of a walkway between Via dei Bonaccorsi and Piazza della Viola, a Green Room is planned on the second level of the building by transforming a narrow and long room into a double-height bioclimatic greenhouse that connects the apartment to the solar slab. The grid outlines the open space of the square defined by an overlap of materially differentiated plates, one of which, slightly rotated and depressed, looks like a forest fragment in the old town; this space helps mitigate the high temperature of the open space (Tzortzi and Lux, 2022).

In Pagliare del Tronto, the grid arises from the analysis of a building located on Via Alcide de Gasperi and overlooking Piazza Kennedy (Fig. 6). A reinforced concrete frame distinguishes the building and lends itself to a volumetric subtraction exercise for the creation of Green Rooms. The geometry of the grid, deduced from the analysis of the building, extends to the square in front of it, which retains its original vocation of being a space used for parking but also for weekly markets and hosting events. On the square, a process of removing the asphalt surface and highlighting the concealed ground is activated.

The grid generates fields and materially differentiated surfaces: light-coloured pavements bring about a rise in albedo; green carpets play a draining role for stormwater; tall trees shade the open space. A wooded pergola and embankment, in addition to defining areas of passage and rest, still act as climatic devices.

In San Benedetto del Tronto, the experimentation involves a massive residential building that still stands on the parking plaza (Fig. 6). Here, too, the grid is determined by the structural scanning of the building within which the fields involved in volumetric subtraction are inscribed for the realisation of Green Room. Additional fields of the façade, on which there is intense solar radiation, are covered by a wooden slat envelope; other fields are covered by vegetation.

The geometry of this regenerative framework is re-proposed in the plaza's design, which is imagined as a large plaque that rises from the ground, becoming a cover for an underground parking lot. On the extrados of the cover, earth-fill results in a vegetated bubble that helps to mitigate the plaza's temperature. Cooled air from the parking lot below is channelled into the stairwells, producing climatic mitigation of indoor spaces. An additional bioclimatic element is defined by the green roof and a pergola that contribute to defining a semi-public space at the top of the building.

The three described design proposals result from a broader experimentation that led to different scenarios: three possible solutions were developed and compared for each study area. Each solution's typological and morphological consistency and the bioclimatic benefits obtained from applying

the adopted devices led to the selection of the three projects presented.

Case studies and scenario verification | The verifications conducted were shown to be significant: the assessment of the level of outdoor thermal comfort, through the Universal Thermal Climate Index (UTCI), allows the estimation of physiological comfort as a function of thermal exchanges resulting from the climatic, material and geometric characteristics of the site, allowing the identification of unfavourable thermal conditions and the evaluation of the effectiveness of design strategies. Simulations were carried out considering the climatic variables of a representative day of the three analysed contexts, among the most critical ones, over a 5-year observation period, in order to transpose the microclimatic response of thermo-hygrometric discomfort for both summer and winter scenarios.

The Envi-met software generated detailed representations of the current state, and the scenarios confirm the vulnerability of the parking plazas. These areas were found to be critical within the urban context due to extremely adverse thermal conditions, with UTCI values reaching perceived thermal sensation indices as high as 36 °C (Fig. 7).

The assessment of the impact of the proposed interventions on the thermal comfort of the area ensures mitigation of the perceived temperature, thanks to the operations of erosion of the cover and vegetative treatment of the emerged soil, on which new tree species were planted for shading, and replacement of the existing pavements through the use of materials with higher albedo in order to reduce heat absorption. For comfort verification at the building scale using Ladybug software, pre- and post-project summer and winter scenarios were evaluated on three sample buildings, located in the study areas, whose exposure was most disadvantageous (Fig. 8). Environmental simulation software was used separately without considering mutual benefits and those related to shading on buildings and evapotranspiration of plants and trees; therefore, the simulations underestimate indoor and outdoor comfort conditions, achievable with the Green Room device.

In the case study of Ascoli Piceno, the choice was made for the bioclimatic greenhouse, a double-height volume occupying the top of the building. This device was designed to capture and store solar radiation so that, during the winter, the structure acts as a solar greenhouse and gradually releases energy inside the building, helping to maintain a comfortable temperature; during the summer season, the presence of vegetation inside the greenhouse plays a key role in reducing the impact of direct solar radiation on the building, leading to a marked improvement in the environmental comfort conditions inside the home.

In the case study of San Benedetto, the effectiveness of passive strategies to harness solar energy on the building during the winter period through green rooms, which act as thermal reservoirs, was evaluated: the comparison between pre- and post-intervention states highlights a heat accumulation created in the project's Green Rooms, which is stored and distributed in a controlled manner in the living spaces. In the summer, environmental comfort is achieved through the Green Rooms and specific shading devices that protect the building from direct solar irradiation.

In the case study of Pagliare del Tronto, the option of subtracting volume on the facade of a building whose exposure was quite critical was considered. This decision was made to reduce solar radiation during summer and contain overheating. The Green Room inside the building and extensive plant erosion processes in the open space are integrated to mitigate discomfort.

Conclusion | The relationship between indoor and outdoor, at both the building and urban scales, is an interpretive key that is shown to be effective in innovating interpretive analyses and design devices aimed at the well-being of living spaces and the regeneration of anthropised territories vulnerable to climate change and the urban heat island. The methodology tested fits into the current scientific debate as it pushes to investigate, in an integrated way, urban and climatic phenomena and to explore general and specific solutions simultane-

ously conformed to local contexts. Starting from a type-morphological analysis of three territories examined and a study of the energy behaviour of a sample building as well as of the microclimatic conditions of the open space (parking plaza) on which it insists, it is possible to prefigure new architectural and urban scenarios using the support of digital technologies. In order to improve the performance of spaces and the benefits they provide in terms of quality of life, well-being and health of inhabitants, design experimentation uses actions inspired and supported by nature.

The UTCI analysis and environmental simulations developed with the support of Envi-met software, as well as comfort verification on sample buildings managed by Ladybug software, produced results that helped evaluate the actual design state for raising the climatic quality of indoor and outdoor space. The inability to simultaneously manage the thermal comfort of outdoor and indoor space may

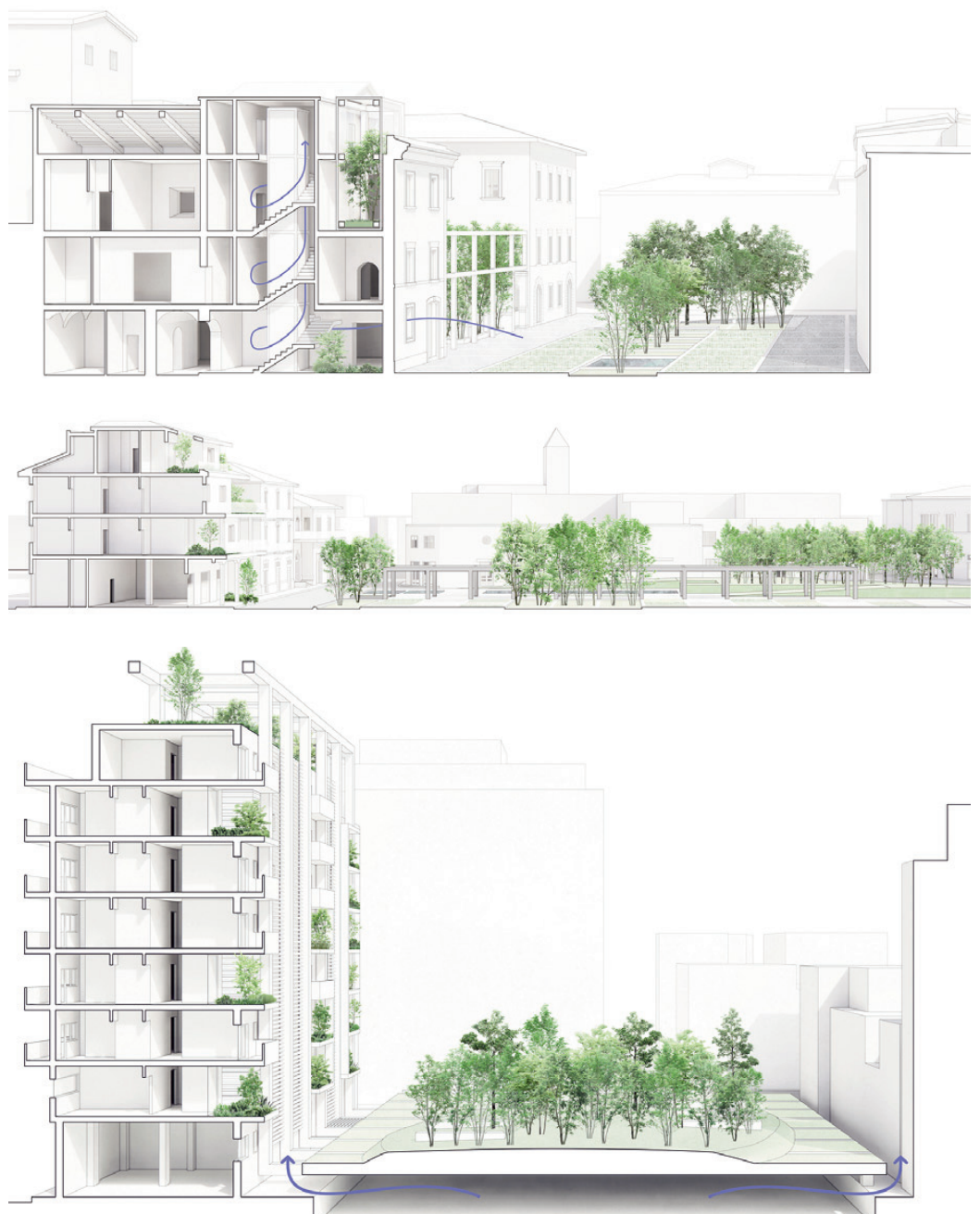


Fig. 9 | Project, perspective section of Piazza della Viola (1) in Ascoli Piceno, Piazza Kennedy (2) in Pagliare del Tronto, and Piazza Marche (3) in San Benedetto del Tronto (credit: the Authors, 2024)

be considered a limitation for the research focused on developing the Green Room device, but the possibility of filling this gap opens up future developments in the research itself. Therefore, it was necessary to carry out a double calculation exercise of the actual and design state for each study area: one focused on the open space and one on the covered space, the outcomes of which, not exhaustive and integrable, were nevertheless evaluated and interpreted in the design development. The design proposal developed for each study area should be considered optimal among the different solutions tested and submitted for climate comfort verification.

A strength of the research is expressed by the intention to establish a distance from an automatic design approach in which the formal solution is deduced from data or generated by software. In an effort to mitigate climate change and raise the quality of architectural environments and urban spaces, an updating not only of software but also a revision of the tools and methods on which design culture is based is necessary for future developments, starting with a renewal of architectural space between building typology and urban morphology and, specifically, between private and public space (Fig. 9).

The Green Room device experimented in the three areas of the mid-Adriatic territory can also be applied in other contexts in which vegetation, infiltrating private space and propagating into public space, is able to trigger a regenerative process of the existing city by contributing to mitigation and adaptation to climate change. The 'parking plaza' is a spatial figure reiterated in various urbanised territories, invested since the second half of the twentieth century by profound social and economic transformations, which have deposited on the soil spaces with poor quality and variety of materials, conceived without a design vision in dialogue with the building artefacts that circumscribe the envi-

ronment and with a presence of parked cars, all easily traceable characters that determine its identification.

For the future of the research, the Green Room device can also be experimented with in a more excellent systemic vision, involving and assimilating more than one episode of vegetal infiltration and volumetric decrease in the urbanised fabrics examined or acting in other structuring elements of the open space in relation to the built, as in the case of the linear geometries of streets.

It has been shown that plants and trees can help contain the rise in temperatures recorded in urban areas in recent years; therefore, planting trees and shrubs, introducing hedges or building green roofs and walls produce benefits for the regulation of temperatures and energy consumption (Ferrini and Del Vecchio, 2021).

Trees for Cities is a campaign launched by the FAO in 2018, and the issue of greening of anthropised territories is at the centre of the debate⁶: nature, if reintroduced in the city, can act effectively, perform and even less onerously than other solutions in reducing the impact of climate change, curbing energy consumption and making the urban environment more resilient (Dessi et alii, 2018; Ferrini and Gori, 2021) and contribute to the energy transition. But for developing these theses, a compositional-architectural and technological-climatic design is required, as demonstrated in the discussion of the article focused on the experimentation of the new Green Room spatial device, capable of jointly and consistently activating architectural and urban regeneration.

Within an ecological and environmental vision related to the energy transition, architectural and urban design adapts but does not lose its innate vocation, namely its fundamentally intellectual practice, a thought translated into form, a cognitive and creative exercise at the same time that, while using

parametric systems, data, and simulation software, moves within a broad cultural imaginary, a source of inspiration, as demonstrated by references to architecture and art: Matisse's Green Room has provided food for thought on the interaction between interior and exterior and on the experimentation of the threshold, rethinking the concept of physical and mental limits of space.

Acknowledgements

The contribution is the result of a collective reflection by the Authors. L. Coccia and S. Cipolletti conducted and developed the theoretical and applied research, G. Corvaro coordinated the design experimentation, and G. Giostra conducted the reconnaissance in the three study areas. F. Ademaj, S. Lo Coco, and D. Mancini collaborated on the micro-climatic verifications.

Notes

1) VITALITY – Ecosystem, Innovation, Digitalization, and Sustainability for the Diffused Economy in Central Italy – Abruzzo, Marche, Umbria, is a project financed under the Mission 'From Research to Enterprise' of the National Recovery and Resilience Plan (Mission 4, Component 2, Investment 1.5) and involves the participation of 24 Entities including Universities, Research Institutions, and Private Entities from Abruzzo, Marche, and Umbria. Acknowledge financial support from PNRR MUR project ECS_0000041-VITALITY – CUP J13C22000430001.

2) The University of Camerino's intervention focuses on four main themes concerning: a) digital, green and energy

transition of indoor and outdoor living environments, b) building safety and resilience, c) intelligent furniture systems with life-saving function, d) innovative software tools for digital transition of living environments. In particular, the investigation topic of Work Package 1) is Context: Indoor and outdoor at the centre of the digital and green transition of living environments.

3) In Italy, building renovation bonuses are regulatory measures for tax deductions applicable to home renovation interventions, including some specifically related to energy requalification and green area requalification in private buildings.

4) In Italy, the Housing Plan, introduced by Article 11 of Legislative Decree 112/2008, provides a series of measures aimed at increasing the real estate assets, both with new constructions and with the recovery of existing ones. For more information, see the webpage: normattiva.it/uri-res/N2Ls?urn:nir:stato:decreto.legge:2008;112~art11 [Accessed 15 March 2024].

5) For more information, see the webpage: istat.it/it/archivio/267094 [Accessed 24 April 2024].

6) The literature on the greening of urbanised territories and updates on the debate regarding climate change and the use of plant material is extensive. For more information,

see: treecitiesoftheworld.org/; nature.com/commsenv/ [Accessed 24 April 2024].

References

- Barber, D. A. (2020), *Modern Architecture and Climate – Design before Air Conditioning*, Princeton University Press, Princeton.
- Bassanelli, M. (2015), "Interno, Esterno – Lo spazio soglia come nuovo luogo della domesticità | Interior, Exterior – The threshold as a new place of domesticity", in *BDC | Bollettino Del Centro Calza Bini*, vol. 5, issue 2, pp. 315-326. [Online] Available at: doi.org/10.6092/2284-4732/4065 [Accessed 15 March 2024].
- Canovas, A. and De Andrés, J. (2023), "Soluzioni locali per sfide globali – L'edilizia residenziale come catalizzatore della transizione ecologica | Solving global challenges locally – Collective housing as a catalyst for ecological transition", in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 13, pp. 67-74. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1352023 [Accessed 15 March 2024].
- Chiesa, G. and Palme, M. (2018), "Valutare la vulnerabilità urbana ai cambiamenti climatici e alle isole di calore

urbano | Assessing climate change and urban heat island vulnerabilities in a built environment”, in *Techne | Journal of Technology for Architecture and Environment*, vol. 15, pp. 237-245. [Online] Available at: doi.org/10.13128/Techne-22086 [Accessed 15 March 2024].

Clemente, C., Palme, M., Mangiatordi, A., La Rosa, D. and Privitera, R. (2022), “Il verde urbano nella riduzione dei carichi di raffrescamento – Simulazioni nel clima Mediterraneo | Urban green areas in the reduction of cooling loads – Simulations in the Mediterranean climate”, in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 11, pp. 182-191. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/11162022 [Accessed 15 March 2024].

Coccia, L. (2005), *L'Architettura del Suolo*, Alinea Editrice, Firenze.

Colombo, C. F. (2015), “La città come una sequenza di interni – Un approccio ecologico alla progettazione dello spazio pubblico | The City as a sequence of interiors – An ecological approach to the design of public space”, in *BDC | Bollettino Del Centro Calza Bini*, vol. 5, issue 2, pp. 371-388. [Online] Available at: doi.org/10.6092/2284-4732/4069 [Accessed 15 March 2024].

Coppetti, B. (2017), *Orizzonti del Progetto – Esperienze di Architettura – L'edificio residenziale milanese del '900*, Maggioli Editore, Sant'Arcangelo di Romagna.

Davidová, M., Barath, S. and Dickinson, S. (2023), “Ambienti culturali con prospettive non solo umane – Prototipazione attraverso ricerca e formazione | Cultural environments with more-than-human perspectives – Prototyping through research and training”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 13, pp. 165-178. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/13142023 [Accessed 15 March 2024].

De Capua, A. and Errante, L. (2019), “Interpretare lo spazio pubblico come medium dell'abitare urbano | Interpreting public space as a medium for urban liveability”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 6, pp. 148-161. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/6142019 [Accessed 15 March 2024].

Dekay, M. and Brown, G. Z. (2014), *Sun, Wind and Light – Architectural Design Strategies*, John Wiley & Sons, Hoboken (NJ).

DeKay, M. and Tornieri, S. (2023), “Schemi per la progettazione esperenziale – Combinare pensiero modulare e teoria integrale | Experiential design schemas – Combining modular thinking with integral theory”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 14, pp. 40-49. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1422023 [Accessed 15 March 2024].

Demuzere, M., Kittner, J. and Bechtel, B. (2021), “LCZ Generator – A Web Application to Create Local Climate Zone Maps”, in *Frontiers in Environmental Science*, vol. 9, pp. 1-18. [Online] Available at: doi.org/10.3389/fenvs.2021.637455 [Accessed 15 March 2024].

Dessi, V., Farnè, E., Ravanello, L. and Salomoni, M. T. (2018), *Rigenerare la città con la natura – Strumenti per la progettazione degli spazi pubblici tra mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna. [Online] Available at: territorio.regione.emilia-romagna.it/paesaggio/formazione-lab-app-1/rigenerare_la_citta_con_la_natura_2_ed.pdf/ [Accessed 15 March 2024].

Dixon, T., Eames, M., Hunt, M. and Lannon, S. (eds) (2014), *Urban retrofitting for sustainability – Mapping the transition to 2050*, Routledge, London.

El-Hitami, H., Mahall, M. and Serbest, A. (2023), “Ecologia dello spazio – Progetto architettonico e relazioni transfrontaliere | An ecology of space – Architectural design for transboundary relationships”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 13, pp. 153-164. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/13132023 [Accessed 15 March 2024].

Ferrini, F. and Del Vecchio, L. (2021), *Resistenza Verde – Manuale di difesa ambientale*, Elliot, Roma.

Ferrini, F. and Gori, A. (2021), “Cities after Covid-19 – How trees and green infrastructures can help shaping a sustainable future”, in *Ri-Vista | Ricerca per l'Architettura del*

Paesaggio, vol. 19, issue 1, pp. 182-191. [Online] Available at: doi.org/10.13128/rv-8553 [Accessed 24 April 2024].

Figini, L. (1950), *L'elemento verde e l'abitazione*, Libraccio, Milano.

Gangemi, V. (ed.) (1994), *L'Ambiente risanato – La bioarchitettura per la qualità della vita*, Edizioni Scientifiche Italiane, Napoli.

Lepore, M. (2004), *Progettazione bioclimatica in ambito urbano*, Aracne editrice, Roma.

Magliocco, A. and Oneto, G. (2023), “Configurazioni spaziali nell'analisi ambientale urbana – Il contributo dell'isola di calore | Spatial configurations in urban environmental analysis – The role of the heat island effect”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 14, pp. 216-223. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/14182023 [Accessed 18 March 2024].

Olgyay, V. (1981), *Progettare con il Clima – Un approccio bioclimatico al regionalismo architettonico*, Franco Muzzio Editore, Padova.

Olivieri, F. (2022), “Progettazione simbiotica per un ecosistema urbano resiliente | Symbiotic design for a resilient urban ecosystem”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 11, pp. 40-49. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1132022 [Accessed 15 March 2024].

Perini, K. (2013), *Progettare il verde in città – Una strategia per l'architettura sostenibile*, FrancoAngeli, Milano.

Perini, K., Mosca, F. and Giachetta, A. (2021), “Urban regeneration – Benefits of nature-based solutions | Rigenerazione urbana – Benefici delle nature-based solution”, in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 9, pp. 166-173. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/9162021 [Accessed 15 March 2024].

Pone, M. (ed.) (2023), *Climactions – La mitigazione dell'Isola di Calore Urbana tra salute e pratiche di rigenerazione*, Quodlibet.

Pone, M. (2021), “Il progetto dello spazio pubblico per l'urban health e l'adattamento climatico – La ricerca CLIMATIONS”, in *Eco Web Town | Journal of Sustainable Design*, n. 24, pp. 76-87. [Online] Available at: ecowebtown.it/n_24/pdf/11_EWT_24_Maria_PONE_stampa_76-87.pdf [Accessed 15 March 2024].

Ponti, G. (1928), “La casa all'italiana”, in *Domus*, vol. 1, p. 7. [Online] Available at: laboratoriodistoria.files.wordpress.com/2013/03/g-ponti-articoli-e-immagini.pdf [Accessed 15 March 2024].

Protasoni, S. (2020), “L'elemento verde e l'abitazione nella città in quarantena | The green element and housing in the quarantined city”, in *FAMagazine | Ricerche e Progetti sull'Architettura e la Città*, vol. 52-53, pp. 178-183. [Online] Available at: doi.org/10.12838/fam/issn2039-0491/n52-53-2020/530 [Accessed 15 March 2024].

Serghides, D. K. (2010), “The Wisdom of Mediterranean Traditional Architecture Versus Contemporary Architecture – The Energy Challenge”, in *The Open Construction and Building Technology Journal*, vol. 4, pp. 29-38. [Online] Available at: openconstructionbuildingtechnologyjournal.com/contents/volumes/V4/TOBCTJ-4-29/TOBCTJ-4-29.pdf [Accessed 24 April 2024].

Spirito, G. (2016), *Forme del vuoto – Cavità, concavità e fori nell'architettura contemporanea*, Gangemi Editore, Roma.

Sposito, C. (2022), “Strategie ecosistemiche e infrastrutture verdi in simbiosi con il costruito | Ecosystem strategies and green infrastructures in symbiosis with the built environment”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 11, pp. 3-13. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1102022 [Accessed 15 March 2024].

Tazartes, M. (2004), *I capolavori*, Milano, Rizzoli Skira.

Tucci, F. and Cecafosso, V. (2020), “Retrofitting dello spazio pubblico per la qualità ambientale ed ecosistemica di città più Green | Retrofitting public space for the environmental and ecosystem quality of greener cities”, in *Techne | Journal of Technology for Architecture and Environment*, vol. 19, pp. 256-270. [Online] Available at: doi.org/10.13128/techne-7827 [Accessed 15 March 2024].

Tucci, F., Altamura, P. and Pani, M. M. (2023), “Modulare le dinamiche urbane in chiave climatica – Spazi intermedi e neutralità climatica | Modulating urban dynamics from a climate perspective – In-between spaces and climate neutrality”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 14, pp. 204-215. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/14172023 [Accessed 15 March 2024].

Tzortzi, J. N. and Lux, M. S. (2022), “Rinverdire i centri storici – Il ruolo dello spazio pubblico nell'infrastruttura verde di Milano | Renaturing historical centres – The role of private space in Milan's green infrastructure”, in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 11, pp. 226-237. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/11202022 [Accessed 15 March 2024].

UN – United Nations (1987), *Our Common Future – Report of the World Commission on Environment and Development*. [Online] Available at: sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf [Accessed 15 March 2024].

Velardi, C. (ed.) (1992), *La città porosa – Conversazioni su Napoli*, Cronopio, Napoli.

ARTICLE INFO

Received	29 March 2024
Revised	29 April 2024
Accepted	09 May 2024
Published	30 June 2024

STRATEGIE LIFE CYCLE THINKING PER LA REALIZZAZIONE DI SCUOLE NZEB

LIFE CYCLE THINKING STRATEGIES FOR CONSTRUCTING NZEB SCHOOLS

Elisabetta Palumbo, Rosa Romano, Paola Gallo

ABSTRACT

Entro il 2050 anche l'Italia dovrà raggiungere la neutralità climatica. Rispetto agli attuali standard quasi il 75% del patrimonio edilizio esistente è energeticamente inefficiente e poiché il 17% è costituito da edifici scolastici intervenire su questa tipologia edilizia è fondamentale per sviluppare percorsi virtuosi indirizzati al raggiungimento degli obiettivi di decarbonizzazione per il 2030. Le chiusure verticali sono tra le unità tecnologiche che contribuiscono maggiormente al raggiungimento di migliori performance energetico-ambientali dell'edificio, ma allo stesso tempo hanno un certo peso in termini di carbonio ed energia incorporata; inoltre gli studi LCA che trattano l'involucro verticale dell'edificio si concentrano principalmente sugli impatti 'dalla culla alla tomba', trascurando scenari di fine vita basati sul riciclo dei materiali provenienti da demolizione selettiva. Il presente studio esplora gli effetti che l'adozione di strategie progettuali circolari hanno come impatti ambientali LCA-based in una Scuola nZEB.

By 2050, Italy, too, will have to achieve climate neutrality. Compared to current standards, almost 75% of the existing building stock is energy inefficient, and since 17% consists of school buildings, intervening in this type of building is essential to develop virtuous paths to achieve 2030 decarbonisation targets. Vertical envelopes are among the technological units that contribute the most to achieving better energy-environmental performance of the building, but at the same time, they have a certain weight in terms of carbon and embodied energy; moreover, LCA studies dealing with the vertical building envelope mainly focus on 'cradle-to-grave' impacts, neglecting end-of-life scenarios based on the recycling of selective demolition materials. This study explores the effects of adopting circular design strategies as LCA-based environmental impacts in an nZEB school.

KEYWORDS

edificio a energia quasi zero, edifici scolastici, valutazione del ciclo vita, progettazione sostenibile, fine vita

nearly zero energy building, school buildings, life cycle assessment, sustainable design, end-of-life

Elisabetta Palumbo, Architect and PhD, is a Researcher at the Department of Engineering and Applied Sciences (DISA) of the University of Bergamo (Italy). She carries out research activities mainly in the field of tools and methods for assessing sustainability in the three dimensions (environmental, economic and social) of materials, products, buildings and neighbourhoods. Mob. +39 333/526.15.72 | E-mail: elisabetta.palumbo@unibg.it

Rosa Romano, Architect and PhD, is an Associate Professor at the Department of Architecture, University of Florence (Italy). Member of the Scientific Committee of the ABITA Centre and Independent Expert for the European Community, she is involved in several research on bio-ecological architecture and innovative environmental technologies, focusing on managing complex building processes. E-mail: rosa.romano@unifi.it

Paola Gallo, Associate Professor at the Department of Architecture (DIDA) of the University of Florence (Italy), is the Scientific Secretary of the Interuniversity Research Centre ABITA and the Scientific Director of the 'Laboratorio per l'Abitare Mediterraneo'. She conducts technological and environmental design research activities. E-mail: paola.gallo@unifi.it



Un'Europa a emissioni zero entro il 2050 è una difficile e articolata sfida che ciascun Paese membro deve affrontare con impegno. Il settore delle costruzioni è uno degli ambiti in cui occorre intensificare gli sforzi, in quanto è responsabile del 37% delle emissioni di CO₂ legate all'energia e ai processi e del 21% delle emissioni globali di gas serra (UNEP, 2023). Stime che potrebbero aumentare in modo significativo nel 2035 (Falana, Osei-Kyei and Tam, 2024), soprattutto alla luce dei recenti dati sulla crescita del consumo globale di energia e delle emissioni globali di gas serra nell'anno 2022, pari all'1% in più rispetto al 2021 (IEA, 2023). Il settore edile ha compiuto numerosi sforzi negli anni per mettere a punto strategie e metodi di valutazione per mitigare gli impatti ambientali (Abdelaal and Guo, 2022); anche a livello legislativo sono diverse le proposte e le politiche globali promosse dalla Commissione Europea mirate alla decarbonizzazione delle diverse sfere dell'ambito delle costruzioni, e in particolare al contenimento dei consumi e delle emissioni nette in uso degli edifici.

In questa cornice la recente revisione della Direttiva EPBD Energy Performance of Building Directive (European Parliament and Council of the European Union, 2024), nota come Direttiva Case Green approvata nel marzo 2024 dal Parlamento Europeo, ridefinisce le modalità per misurare i consumi energetici e le relative emissioni di gas climalteranti degli edifici, estendendo l'analisi dalla sola Operational Energy e associati impatti (Operational Carbon) alla Whole Life-Cycle Performance, che implica il calcolo della Embodied Energy / Carbon. Se la definizione della Operational Energy è alquanto evidente, la identificazione della Embodied Energy / Carbon richiede una valutazione più articolata in quanto concerne la somma delle energie e degli impatti prodotti in tutte le fasi del ciclo di vita della costruzione secondo la logica 'dalla culla alla tomba', e quindi include gli impatti dovuti a produzione dei singoli materiali, trasporto in cantiere, oltre che operazioni di ripristino e manutenzione nella vita utile dell'opera, per arrivare alla sua fine vita (Sposito and Scalisi, 2020).

In effetti negli ultimi anni diversi studi e ricerche hanno evidenziato come, talora, raggiungere elevati standard energetici significhi aumentare significativamente l'energia incorporata (Palumbo and Politi, 2018; Rondinel-Oviedo and Keena, 2022), proponendo l'adozione di soluzioni tecnologiche che risultano spesso inadatte dal punto di vista della Life Cycle Energy (LCE; Birgisdottir et alii, 2017). Molti studiosi (Moazzen, Karagüler and Ashrafian, 2021) infatti concordano sulla necessità di adottare strategie progettuali seguendo un approccio Life Cycle Thinking (LCT), che contempli quindi una valutazione sulla globalità delle azioni connesse a tutta la vita utile dell'edificio, al fine di comprenderne il comportamento energetico e di conseguenza individuare le soluzioni a minor impatto ambientale.

La questione del rapporto tra Operational Energy ed Embodied Energy / Carbon diventa altresì centrale nel caso degli interventi di rigenerazione con demolizione e ricostruzione di nuovi edifici che, in linea con le strategie del Renovation Wave for Europe (European Commission, 2020a) e con le numerose e recenti altre iniziative comunitarie sulla transizione ecologica ed energetica a livello internazionale – dall'European Green Deal (Euro-

pean Commission, 2019) al Next Generation Europe Economic Development (European Commission, 2020b) – costituiscono uno dei temi maggiormente rilevanti della revisionata Direttiva EPB4 (Fetting, 2020).

È interessante notare che attualmente in quasi tutti gli Stati europei sono in atto Programmi di finanziamento che prevedono di rinnovare il patrimonio edilizio pubblico esistente attraverso azioni di 'deep renovation' o di demolizione e ricostruzione con l'obiettivo di ridurre i consumi energetici e l'impatto ambientale globale. Tra gli edifici rispetto ai quali si evince l'urgenza di intervenire con azioni congiunte dal punto di vista energetico e strutturale gli edifici scolastici risultano essere quelli che presentano maggiori criticità e che, se riqualificati o edificati ex novo, possono contribuire a diffondere nuove soluzioni e processi costruttivi ispirati dai principi del Circular Design. Non a caso nell'ultimo decennio in Europa sono stati numerosi i progetti finanziati che hanno scelto le Scuole come casi studio e laboratori di sperimentazione, coinvolgendo più contesti geografici, tra cui l'Italia.

La ricerca School of the Future – Towards Zero Emission with High Performance Indoor Environment¹ è stata finanziata agli inizi del 2011 nell'ambito del VII Programma Quadro con l'obiettivo di sperimentare soluzioni tecnologiche di involucro e di impianto utilizzabili per ridurre i consumi energetici di tre tipologie di edifici scolastici in quattro differenti Paesi (Danimarca, Germania, Italia e Norvegia), migliorandone la vivibilità e i costi nel ciclo di vita (Erhorn-Kluttig and Erhorn, 2014). Le soluzioni di retrofit energetico vagliate dal progetto, consultabili in un database dedicato, mostrano interessanti spunti di riflessione sulla effettiva efficacia tecnico-economica degli interventi nei diversi contesti internazionali.

Un anno più tardi il progetto VERYSchool², una delle prime ricerche europee sviluppate nell'ambito del Programma Europeo per la Competitività e l'Innovazione (CIP-ICT-PSP-2011), ha sperimentato uno strumento innovativo, chiamato VSNavigator, per la gestione efficiente e l'ottimizzazione dell'energia negli edifici scolastici. Si tratta di un web-tool user friendly che – integrando due strumenti consolidati di misurazione e controllo energetico (il Building Energy Management System e una modellazione energetica) a loro volta collegati a dispositivi interattivi (smart meter e smart control) per la regolazione impiantistica HVAC e di illuminazione – è in grado di restituire possibili azioni di ottimizzazione e stima dei benefici (Galata et alii, 2015).

Più recente è la Renew School³, finalizzata a sviluppare strategie efficaci per l'adeguamento di edifici scolastici agli standard nZEB attraverso interventi sia di riqualificazione energetica degli edifici esistenti sia di nuova costruzione, con ricadute positive anche sul comfort degli utenti: il progetto propone soluzioni tecnologiche innovative per involucri a basso impatto ambientale. Sebbene siano rilevanti per le innovazioni proposte che adottano un approccio integrato con soluzioni e strumenti intelligenti di controllo e gestione dei flussi energetici e di comfort, agendo tanto su aspetti spaziali quanto su quelli più tecnologici, tutti e tre i casi presentano il limite di trascurare gli effetti legati agli impatti 'incarnati' dei materiali e dei componenti adottati nel progetto.

Parallelamente, l'Italia, coinvolta come partner in molti di questi progetti internazionali, ha avviato una serie di azioni congiunte⁴ – promosse dal Ministero dell'Istruzione e del Merito e dall'Istituto Nazionale di Documentazione, Innovazione e Ricerca Educativa (INDIRE) – finalizzate a rinnovare il patrimonio edilizio scolastico nazionale costruito prevalentemente tra il 1945 e il 1980. Tale patrimonio edilizio versa in uno stato di grave degrado e pericolosità strutturale ed è inadeguato dal punto di vista spaziale alle innovazioni didattiche che nel frattempo sono state promulgate attraverso le Linee Guida⁵ del 2013 con l'obiettivo di superare i modelli obsoleti della normativa corrente che risale al 1975.

Tale urgenza ha portato all'emanazione di una serie di concorsi banditi negli anni e all'erogazione di linee di finanziamento specifiche, come ad esempio i mutui BEI, che hanno permesso alle Amministrazioni pubbliche di avviare azioni di rigenerazione (spesso riconducibili a interventi di demolizione e ricostruzione) finalizzate alla realizzazione di nuovi edifici che, in linea con la vigente normativa Criteri Ambientali Minimi (CAM; MITE, 2022), sono stati progettati sia per raggiungere i target nZEB sia per risultare sostenibili dal punto di vista ambientale rispetto a un approccio Life Cycle Thinking (LCT) a supporto di una valutazione più ampia ed estesa spesso poco indagata.

Come nelle esperienze europee ancora una volta è significativo notare che, anche a livello nazionale, sia negli interventi di nuova costruzione che in quelli di riqualificazione le innovazioni maggiori si sono avute nella sperimentazione alla scala dell'involucro architettonico, chiamato a rendere manifesta, attraverso la sua trasformazione, l'ambizione ecologica del progetto.

Lo scenario fin qui delineato restituisce un quadro progettuale e normativo dell'ultimo decennio che si caratterizza prevalentemente per l'analisi della dimensione operativa del manufatto edilizio, attenendosi meno alle fasi rilevanti del ciclo di vita, ad esempio quelle connesse alla realizzazione dei prodotti e alle tecnologie impiegate. Inoltre l'assenza di un'armonizzazione degli strumenti di calcolo LCA, oltre alla limitata diffusione di specifiche banche dati geograficamente contestualizzate, ha frenato la messa a punto di una valutazione più olistica e con confini più estesi; al superamento di tale limite potrebbe tuttavia dare un forte impulso l'ultima revisione della Direttiva EPBD (European Parliament and Council of the European Union, 2024).

Partendo da queste riflessioni il contributo si focalizza sull'approccio metodologico sviluppato per validare il progetto di demolizione e ricostruzione della Scuola 'Cino da Pistoia' nel Comune di Pistoia, ideato per rispondere ai più moderni modelli spaziali ispirati dai concetti di didattica innovativa, per garantire consumi energetici pari allo zero (attraverso scelte di involucro e di impianto adeguate) e per raggiungere l'obiettivo di ottimizzare gli impatti globali (incorporati e operativi) del suo intero ciclo di vita, attraverso l'adozione di strategie progettuali circolari (Romano et alii, 2023).

Nello specifico la metodologia integrata proposta si struttura in tre fasi principali: 1) verifica e valutazione del comportamento energetico dell'edificio rispetto al target nZEB del comfort indoor, con un focus su diversi sistemi di involucro verticale; 2) LCA semplificata della soluzione di in-

volucro con la miglior performance energetica, rispetto alle fasi di produzione e degli scenari di fine vita, adottando robuste fonti di dati quali le Environmental Product Declaration (EPD); 3) Interpretazione dei risultati LCA rispetto alle prestazioni energetiche.

L'obiettivo è dimostrare come la rigenerazione degli edifici scolastici esistenti, mediante interventi di demolizione e ricostruzione, possa essere condotta integrando soluzioni di involucro finalizzate a migliorare le prestazioni energetiche e il comfort indoor e outdoor con valutazioni sull'impatto ambientale in tutte le fasi di vita dell'edificio, andando oltre la semplice valutazione della fase di utilizzo, ovvero partendo dall'analisi degli effetti generati dalla produzione dei materiali e dei componenti edilizi utilizzati nei sistemi di facciata, fino alla possibilità di minimizzarli, applicando principi di circolarità come il riuso e il riutilizzo post consumer.

Il progetto della Scuola 'Cino da Pistoia' | La Scuola secondaria di primo grado 'Cino da Pistoia' (PT) fa parte di un Complesso scolastico esistente che comprende la Scuola primaria 'G. Galilei', una palestra e una mensa scolastica e nel quale si trovava un edificio obsoleto, ormai abbandona-

nato e bisognoso di interventi urgenti a causa della presenza di amianto e di gravi carenze strutturali che lo rendevano non adeguato alle più recenti normative inerenti la sicurezza sismica, l'accessibilità e l'efficienza energetica. A causa di queste evidenti criticità, e dopo una fase di audit dettagliato, è stata presa la decisione di procedere con la demolizione e ricostruzione dell'edificio in questione con l'obiettivo di sviluppare un progetto in linea con quanto previsto dai CAM in materia di risparmio energetico e impatto ambientale.

In particolare lo sviluppo del progetto architettonico ha previsto l'adozione di un approccio di tipo esigenziale prestazionale, incentrato sulla caratterizzazione del quadro dei requisiti e dei vincoli di contesto, di carattere programmatico, tecnico e ambientale a cui rispondere attraverso adeguate scelte compositive, funzionali e tecnologiche. La quantificazione dimensionale dell'intervento, tenuto conto degli indici urbanistico-edilizi previsti dallo strumento di pianificazione vigente, ha interpretato due esigenze principali: da una parte quella di accogliere 6 cicli didattici della Scuola media esistente (18 classi in totale), dall'altra quella di disporre di aule polifunzionali, facilmente adattabili e modificabili nel tempo per rispondere al-

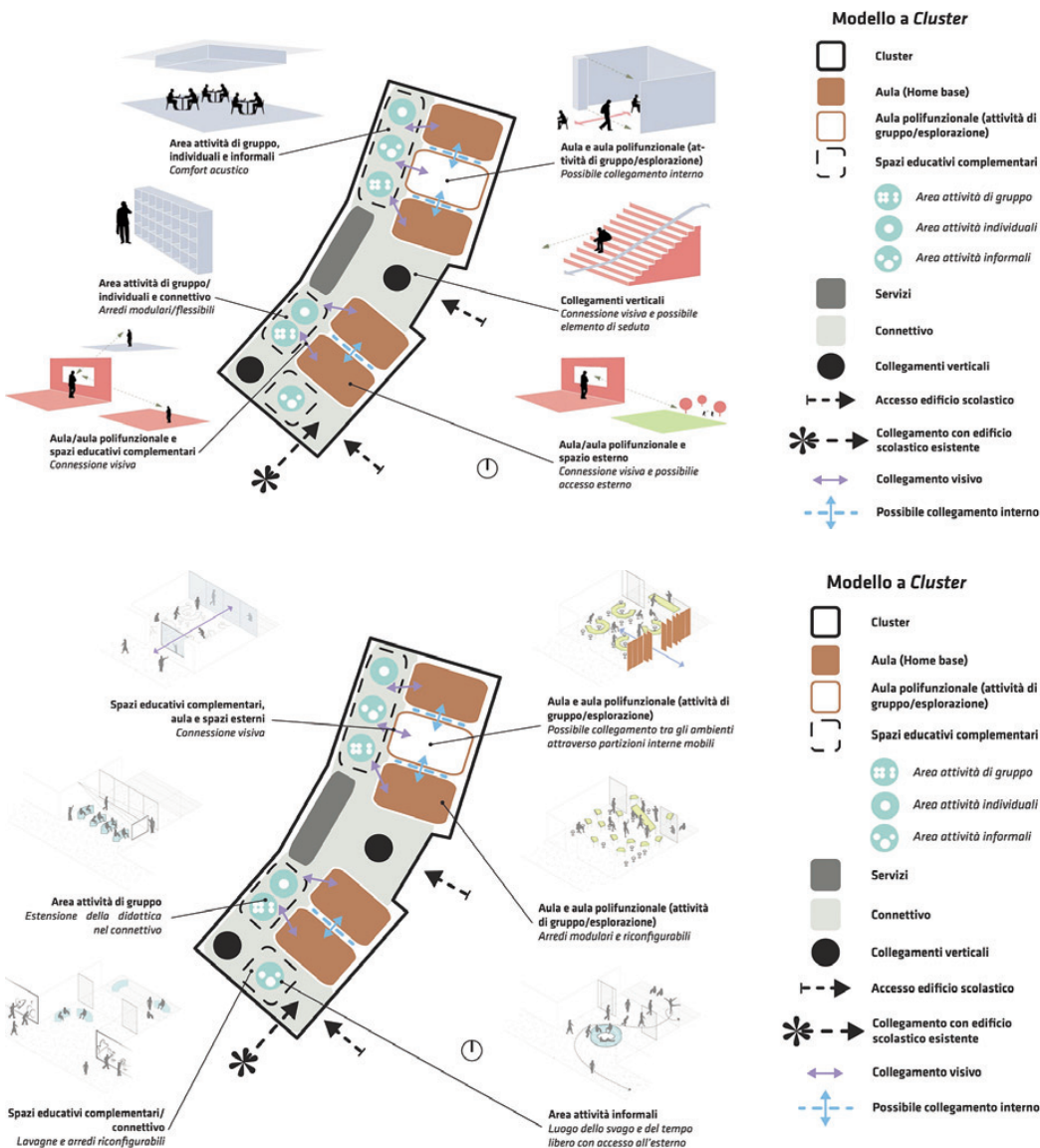
l'evoluzione delle esigenze dei modelli didattici contemporanei (Figg. 1, 2).

Lo scenario emerso dalle indagini preliminari ha permesso di prefigurare cinque macro-tematiche fondanti il nucleo di strategie propedeutiche alla successiva definizione del concept di progetto:

- Sostenibilità e riduzione dell'impatto ambientale attraverso LCA delle scelte progettuali adottate, improntate a minimizzare l'impronta antropica dell'intervento, in termini sia di consumi energetici dell'edificio in fase di utilizzo che di filiera produttiva dei materiali impiegati per la realizzazione (approccio 'dalla culla alla culla'), valutandone puntualmente le potenzialità di dismissione selettiva, riciclabilità e riutilizzabilità dei componenti;
- Efficienza energetica e integrazione di tecnologie per la produzione di energia da fonti rinnovabili (fotovoltaico e solare termico), adottando scelte progettuali indirizzate all'ottenimento di standard di efficienza che rispettano i parametri descritti per la classificazione nZEB;
- Strategie passive per il controllo ambientale integrate e declinate alle varie scale dell'intervento, dallo spazio aperto alle soluzioni tecnologico-compositive dell'involucro, allo scopo di massimizzare e potenziare gli effetti dei sistemi solari e di ventilazione passiva previsti per ridurre i consumi nella climatizzazione degli ambienti;
- Controllo delle condizioni di comfort indoor illuminotecnico, acustico e termo-igrometrico attraverso modellazioni con software dedicati, rispetto ai parametri qualitativi e quantitativi stabiliti dalla normativa per gli ambiti prestazionali sopracitati;
- Edilizia scolastica innovativa, attraverso una distribuzione planimetrica basata sull'adozione di spazi educativi articolati come cluster didattici e ambienti comuni progettati come laboratori e agorà aperti al territorio e alla società.

Le azioni intraprese nella fase progettuale definitiva per garantire l'adempimento alla normativa CAM (Fig. 3) possono essere ricondotte a tre ambiti strategici di previsione (a scala di insediamento, del singolo edificio, dei materiali e dei componenti), articolati come segue:

- Sistemazione delle aree a verde esterne, attraverso il mantenimento di gran parte delle essenze presenti nel lotto e la piantumazione di nuove alberature e arbusti autoctoni e con basso potere allergenico, non urticanti né spinose (Figg. 4, 5);
- Riduzione del consumo di suolo e mantenimento della sua permeabilità (Fig. 4), mediante l'integrazione di superficie verde (3.022 mq) e pavimentata con maglie aperte (4.730 mq) superiore al 60% della superficie di progetto (5.371 mq);
- Miglioramento della prestazione energetica, adottando soluzioni di involucro capaci di garantire elevati standard di isolamento invernale e di inerzia termica estiva (Fig. 6);
- Approvvigionamento energetico, integrando in copertura e nella schermatura della serra solare un impianto fotovoltaico di 17 kW (Fig. 7);
- Risparmio idrico, realizzando un impianto di raccolta delle acque piovane riutilizzabili per uso irriguo e per gli scarichi sanitari, impiegando dispositivi per la riduzione del flusso d'acqua e apparecchi sanitari con cassette a doppio scarico e prevedendo un sistema di monitoraggio dei consumi idrici, come strumento educativo a un consumo consapevole della risorsa acqua;
- Illuminazione naturale, garantendo un fattore me-



Figg. 1, 2 | Distribution diagram of innovative educational environments: ground floor; the first and second floor (credits: ABITA Centre, 2019).

dio di luce diurna uguale o superiore al 2% per tutti i locali regolarmente occupati attraverso grandi pareti finestrate orientate verso Sud-Est (Fig. 8);

- Aerazione naturale e ventilazione meccanica controllata, tramite: 1) ottimizzazione della distribuzione dei volumi edilizi, orientati rispetto all'asse Nord-Est / Sud-Ovest per favorire, attraverso l'apertura degli infissi posti su fronti opposti, un naturale effetto di ventilazione trasversale, necessario a smaltire il calore in eccesso; 2) integrazione di un recuperatore di calore al fine di minimizzare le dispersioni energetiche in regime invernale;
- Dispositivi di protezione solare, mediante l'integrazione di sistemi di schermatura e ombreggiamento opportunamente dimensionati e orientati; nello specifico in corrispondenza delle aule sono state inserite tende mobili esterne e sistemi fissi a lame verticali, mentre il nucleo centrale di collegamento è stato schermato da lamelle orizzontali realizzate con pannelli fotovoltaici DSSC;
- Disassemblabilità, tramite l'impiego di tecniche costruttive a secco per favorire a fine vita dell'edificio la smontabilità e il recupero di tutti i componenti edilizi utilizzati;
- Materia recuperata o riciclata, prestando particolare attenzione alla selezione di componenti edilizi contenenti adeguate percentuali di materia riciclata o ecocompatibile.

Dal punto di vista compositivo il nuovo edificio si articola in tre corpi di fabbrica di tre piani, per un volume complessivo di 9.025,00 mc, coerentemente con le prescrizioni degli strumenti urbanistici vigenti e con le previsioni di densità edilizia del contesto circostante; esso si caratterizza per la presenza di una grande serra centrale di ingresso pensata non solo come collegamento verticale e luogo di relazione, ma anche quale strumento per il controllo ambientale passivo (Figg. 9, 10).

Le soluzioni materiche e tecnologiche adottate per l'involucro architettonico del nuovo corpo di fabbrica assumono, infine, valenza di riconoscibilità dell'intervento e della sua funzione all'interno del contesto periurbano in cui si inserisce. Si intende in questo modo favorire la creazione di una nuova consapevolezza, negli studenti e nella comunità, sul peso che l'edilizia scolastica assume nelle strategie di sfruttamento e gestione sostenibile e innovativa dell'energia e dell'ambiente.

Analisi energetiche a regime dinamico | Con l'obiettivo di compiere scelte compositive e tecnologiche che permettessero di raggiungere lo standard nZEB, garantendo condizioni di comfort indoor adeguate durante tutto l'arco dell'anno e in ottemperanza ai CAM, la fase di progettazione è stata accompagnata da un fase di modellazione e simulazione energetica in regime dinamico, condotte per verificare in modo predittivo il raggiungimento dei target energetico-ambientali identificati nella fase meta-progettuale. Il modello BIM è stato sviluppato partendo dalle caratteristiche geometriche e fisiche dell'edificio e implementato rispetto alle caratteristiche materiche e termoigrometriche di ogni soluzione tecnologica adottata. Successivamente si è proceduto con la formulazione delle ipotesi inerenti ai profili di occupazione annuale, sulla base dei dati forniti dalla committenza e considerando solo le zone relative alle aule scolastiche.

I profili d'uso sono stati formulati su base oraria giornaliera, rispetto alle indicazioni relative agli

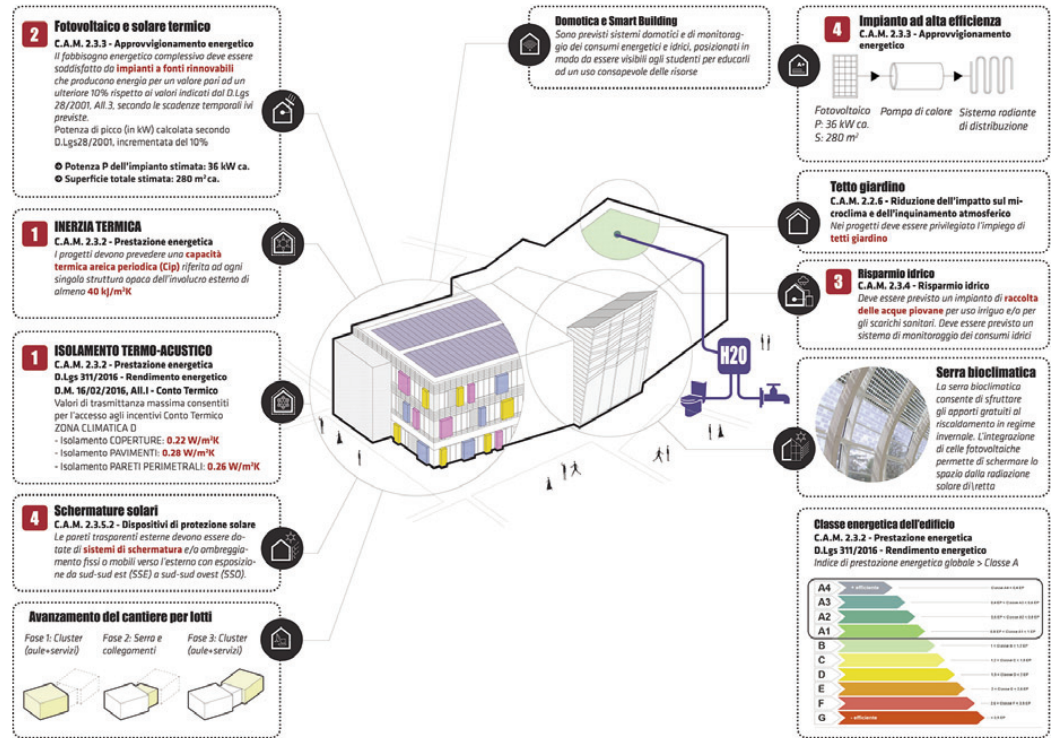


Fig. 3 | Analysis of the achievement of MEC requirements in building design (credit: Centro ABITA, 2019).

orari delle attività didattiche e del calendario scolastico regionale desunti dal portale 'scuola in chiaro' del Ministero dell'Istruzione e del Merito. L'affollamento considerato per ciascuna aula è stato considerato pari a 25 persone, comprensivo sia degli alunni che dei docenti e considerando che l'occupazione dei locali ha luogo indicativamente dal 15 settembre al 10 giugno, dal lunedì al venerdì per 6 ore giornaliere (dalle 8:00 alle 13:45).

In seguito è stato possibile individuare gli apporti energetici interni, come indicato dalla norma tecnica UNI/TS 11300-1:2014 (pari a 4 W/mq per gli apporti globali per la categoria edifici scolastici) e in riferimento ai dati di occupazione (25 persone per aula), tenendo conto in particolare del calore prodotto dagli apparecchi dell'impianto d'illuminazione (9 corpi illuminanti per aula con una potenza di 30 W ciascuno), dai dispositivi elettrici ed elettronici utilizzati per la didattica (lavagne interattive multimediali, videoproiettori e computer) e dagli occupanti stessi, in base all'attività metabolica (calore pari a 70 W/mq per attività sedentaria) e al vestiario (pari a 1 c.l.o. per il periodo invernale e a 0,7 c.l.o. per il resto dell'anno).

La stessa operazione è stata svolta relativamente alle dispersioni termiche, analizzando e quantificando la presenza di infiltrazioni d'aria parassite (pari a 0,1 ricambi d'aria per ora) e il dispendio energetico dovuto al ricambio d'aria per ventilazione naturale, dovuto alla possibile apertura delle finestre. Questi elementi sono stati inseriti nel calcolo ipotizzando in modo cautelativo i possibili comportamenti scorretti nella fase di utilizzo del fabbricato (ad es. apertura delle finestre anche nel periodo invernale).

L'ultimo elemento considerato nella modellazione a regime dinamico ha riguardato la definizione delle caratteristiche dell'impianto di riscaldamento, in modo da determinare in modo puntuale sia il fabbisogno energetico dell'edificio sia i livelli di comfort percepito dai suoi utenti. Le simulazioni

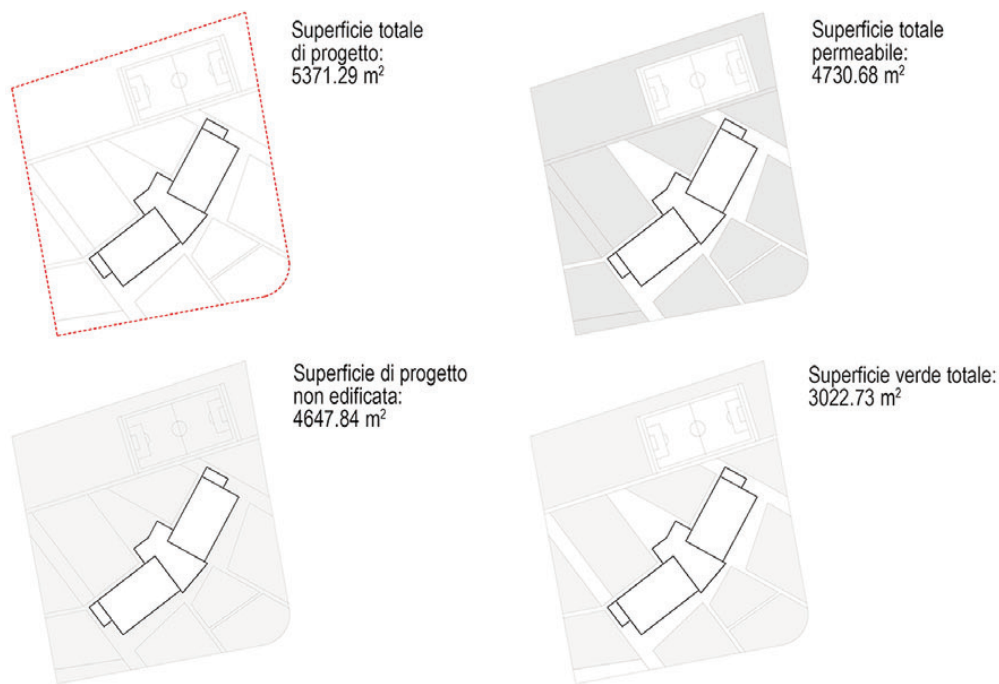
hanno confermato che le soluzioni di involucro e di impianto proposte permettevano di raggiungere gli indici di prestazione energetica globale previsti dalla normativa (Tab. 1).

Completata la modellazione energetica della nuova Scuola in ambiente BIM si è proseguito con la simulazione dinamica del fabbricato mediante il software EnergyPlus, con l'obiettivo di analizzare come potevano cambiare le prestazioni del nuovo edificio con o senza facciata ventilata. A seguito dell'analisi dei dati di output estratti da questa fase di simulazione dinamica si è proceduto a osservare i relativi grafici, estrapolati dai file .csv; tale operazione è risultata necessaria per comprendere in modo efficace le prestazioni offerte dall'involucro edilizio, sia dal punto di vista energetico che di comfort, rispetto ai principali locali del fabbricato, identificati nelle aule scolastiche.

Nel dettaglio le simulazioni sono state condotte per tre zone termiche (Z02_Aula02; Z16_Aula09; Z39_Aula18), selezionate in base alla loro posizione nell'edificio in modo da valutare condizioni differenti di orientamento e di conseguenza di soleggiamento.

Le prestazioni di carattere energetico e quelle relative al comfort termo-igrometrico sono state valutate per due differenti configurazioni d'involucro (Tab. 2) e studiate attraverso l'utilizzo di quattro differenti marker: temperatura media interna delle aule, rapportata a quella esterna del sito; accumulo di energia termica delle superfici; indice di comfort PMV (voto medio previsto).

I valori simulati sono stati successivamente comparati, al fine di individuare quale tra i pacchetti analizzati fosse in grado di offrire i maggiori benefici, rispetto al caso specifico della nuova Scuola 'Cino da Pistoia'. I dati hanno permesso di evidenziare come, grazie all'inserimento della facciata ventilata, sia possibile ottenere dei vantaggi nel corso dell'ultima parte del periodo di riscaldamento della stagione invernale. Infatti osservando i dati



C.A.M. Criteri Ambientali Minimi, D.M. 11/10/2017

2.2.3	Riduzione del consumo di suolo e mantenimento della permeabilità dei suoli	Il progetto di nuovi edifici o gli interventi di ristrutturazione urbanistica, ferme restando le norme e i regolamenti più restrittivi, deve avere le seguenti caratteristiche: Deve prevedere una superficie territoriale permeabile non inferiore al 60% della superficie di progetto (es. superfici verdi, pavimentazioni con maglie aperte o elementi grigliati etc); Deve prevedere una superficie da destinare a verde pari ad almeno il 40% della superficie di progetto non edificata e il 30% della superficie totale del lotto; Deve prevedere una superficie da destinare a verde pari ad almeno il 30% della superficie totale del lotto;	$S_{di\ progetto}$	$S_{t\ perm.\ richiesta}$	$S_{t\ perm.\ di\ progetto}$
			5371.29 m ²	3222.77 m ²	4730.68 m ²
			$S_{progetto\ non\ ed.}$	$S_{verde\ richiesta}$	$S_{verde\ di\ progetto}$
			4647.84 m ²	1859.14 m ²	3022.73 m ²
			$S_{di\ progetto}$	$S_{verde\ richiesta}$	$S_{verde\ di\ progetto}$
			5371.29 m ²	1611.39 m ²	1611.39 m ²

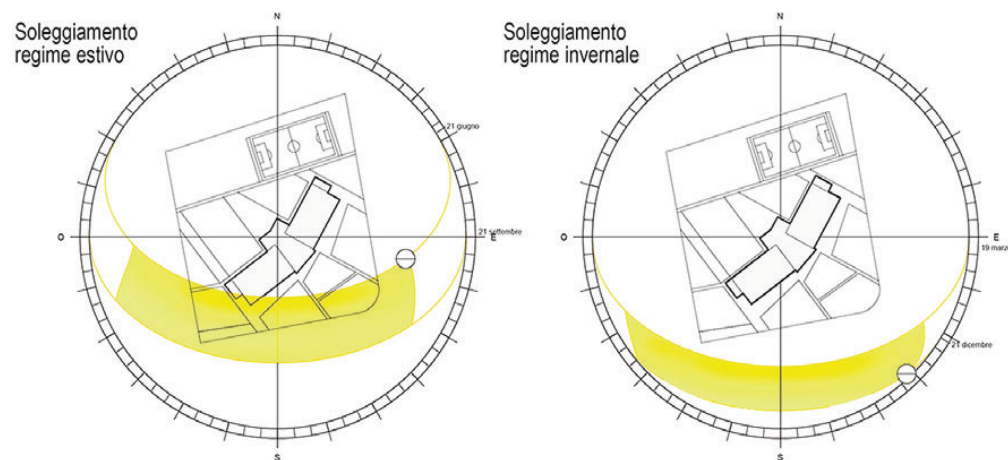


Fig. 4 | Analysis of the achievement of MEC requirements in the design of outdoor spaces (credit: Centro ABITA, 2019).

estrapolati dal software di calcolo è possibile notare che la parete ventilata determina condizioni di comfort indoor più soddisfacenti, con la conseguente diminuzione del fabbisogno di energia per la climatizzazione nei periodi intermedi (in particolare nelle ultime settimane di marzo), sia in termini di controllo della temperatura dell'aria (Fig. 11) che di indice PMV (Fig. 12).

LCA semplificata | La metodologia LCA è utilizzata per valutare gli impatti ambientali degli edifici sulla base dell'intero ciclo di vita, considerando sia gli impatti operativi che quelli incorporati (Birgisdottir et alii, 2017): i primi indicano gli impatti

che si determinano nella fase d'uso dell'edificio, come ad esempio quelli legati al riscaldamento e raffreddamento, i secondi sono relativi alla fase di costruzione dell'opera, che comprende l'estrazione, l'approvvigionamento e il trasporto delle materie prime, la produzione dei materiali e dei prodotti utilizzati, nonché il trasporto in cantiere e quindi la gestione dei materiali al termine della loro vita utile (End of Life – EoL), includendo la demolizione o de-costruzione, il riciclo, la discarica o il riutilizzo (Fufa et alii, 2018).

Nonostante il crescente interesse per i temi di circolarità la gran parte degli studi sulla valutazione del ciclo di vita dei sistemi di facciata non tiene

conto dell'EoL, ma è spesso orientata a un approccio del tipo 'dalla culla alla tomba', omettendo invece le fasi di utilizzo e smaltimento (Cheong et alii, 2024) che possono contribuire in modo significativo sugli impatti globali dell'edificio.

Infatti la letteratura scientifica sui principi di circolarità indica il riutilizzo dei materiali quale processo da privilegiare rispetto al riciclo e l'invio in discarica da evitare; ciò può essere perseguito attraverso una demolizione selettiva, che concerne la cernita e rimozione di quei materiali più adatti a essere riciclati e/o riutilizzati (Cheong et alii, 2024). Allo stato delle conoscenze tuttavia risulta molto complesso identificare la soluzione ottimale, in termini di benefici ambientali, tra demolizione selettiva volta al riciclo e indirizzata al riutilizzo.

Su questo tema gli studi pubblicati sono contrastanti, poiché il tema da affrontare è la quantificazione degli oneri legati al processo di separazione e di selezione dei componenti edili nel bilancio totale. Pantini e Rigamonti (2020), coerentemente con Anseh et alii (2021), dimostrano come gli impatti prodotti da una demolizione selettiva, condotta in un contesto geografico ben definito, possono essere più alti e tecnicamente impegnativi rispetto a una procedura tradizionale se il loro smontaggio non è stato previsto già in fase di progettazione, poiché dipendono fortemente dalle caratteristiche dell'edificio da demolire, dal contesto e dal mercato in cui si opera; concludendo, le valutazioni sugli impatti ambientali connessi alla demolizione selettiva devono essere vagliate caso per caso.

Sulla base di queste considerazioni l'obiettivo dello studio LCA è valutare il contributo degli impatti dovuti al riciclo a fine vita utile di almeno il 70% in peso dei componenti della facciata della Scuola 'Cino da Pistoia', considerando il sistema di chiusura con facciata ventilata che è risultato maggiormente performante a seguito delle simulazioni condotte nella fase progettuale.

Indicatori LCA e risultati | In linea con le opzioni semplificate di comunicazione degli indicatori LCA introdotti dal framework EU Level(s) (Dodd, Donatello and Cordella, 2021), gli impatti ambientali della facciata sono stati calcolati considerando un ciclo di vita incompleto e prendendo in particolare in esame i seguenti moduli: la fase del prodotto (A1-A3), quella dello scenario EoL (C3-C4) e i benefici o gli oneri ambientali netti derivanti dal riutilizzo di più del 70% in peso delle componenti di facciata (Tab. 3). Pertanto, sulla base delle simulazioni energetiche condotte, questa parte di analisi, ha seguito le seguenti fasi:

- definizione dello scenario di fine vita della facciata ventilata, rispetto alle indicazioni del criterio 2.4.14 dei CAM edilizia, prevedendo che almeno il 70% in peso dei materiali utilizzati nella soluzione sia sottoponibile a fine vita a disassemblaggio e demolizione selettiva per un successivo riciclo;
- scelta degli indicatori di impatto rilevanti per valutare l'impatto ambientale del sistema studiato;
- individuazione e raccolta delle Dichiarazioni Ambientali di Prodotto (EPD) appropriate al caso studio, sulla base delle prestazioni e caratteristiche identificate nell'analisi energetica;
- identificazione delle informazioni sul disassemblaggio di ciascun componente di facciata e dei relativi dati di impatto e di scenario nelle EPD precedentemente analizzate;

- esecuzione della valutazione del ciclo di vita dell'intera facciata;
- valutazione dei risultati della LCA.

Una LCA contempla diversi indicatori e parametri per quantificare gli impatti sull'ambiente, soprattutto nelle fasi iniziali di progetto, ma per ottimizzare i tempi e l'onerosità tecnica di calcolo di una LCA completa i parametri possono essere ridotti (Hur et alii, 2005).

Alla luce di queste premesse e tenendo conto delle indicazioni che la *EeBGuide* (Gantner et alii, 2012) - considerata tra le principali linee guida operative per condurre una LCA nel presente studio - fornisce in merito alla scelta degli indicatori nell'analisi semplificata (Hollberg and Ruth, 2016), si è scelto di esaminare tre dei principali indicatori LCA dichiarati dalle EPD: 1) il potenziale di riscaldamento globale (Global Warming Potential - GWP), che esprime le emissioni di gas serra come tonnellate di CO₂ equivalente; 2) l'uso totale di risorse energetiche primarie rinnovabili (Total use of Renewable Primary Energy Resources - PERT), come somma tra l'energia primaria rinnovabile e le risorse energetiche primarie utilizzate come materie prime (GJ); 3) l'uso totale di risorse energetiche primarie (MJ) non rinnovabili (Total use of Non-Renewable Primary Energy - PENRT), che include l'energia primaria non rinnovabile e le risorse energetiche primarie utilizzate come materie prime (GJ).

Alla definizione degli obiettivi LCA e della selezione degli indicatori, è seguita la raccolta delle EPD - strumenti più idonei per informare sugli impatti ambientali dei materiali da costruzione basati su LCA (Sposito and De Giovanni, 2023) - nei principali Program Operator (PO) europei: EPD Italy, Institut Bauen und Umwelt e. V. (IBU) ed EPD International. La cernita delle Etichette Ambientali ha tenuto conto della corrispondenza con le caratteristiche prestazionali dei materiali valutati per la parte energetica e della validità del dato come scadenza e contesto geografico: solo per il rivestimento in alluminio il dato è stato tratto da una EPD, verificata da parte terza ma pubblicata dalla European Aluminium, e non nei consueti PO.

La Figura 13 indica i risultati del GWP per fase del ciclo di vita, mentre la Figura 14 riporta gli indicatori sull'uso totale di risorse primarie rinnovabili (PERT) e non rinnovabili (PERNT) per la sola fase di produzione (A1-A3). In entrambi i casi il contributo dato dall'alluminio, sia come rivestimento sia come elemento degli infissi, è preponderante nella fase di produzione (A1-A3) rispetto alle altre componenti analizzate; tale alta incidenza in fase di produzione dovrebbe comunque essere limitata dalla fase D, da valutare a parte e riguardante i benefici derivanti dal riciclo post uso, che negli studi EPD sono stati assunti con percentuali pari al 96% per il rivestimento di facciata e del 95% per gli infissi.

Conclusioni e sviluppi futuri | Sebbene ci sia ancora molto lavoro da fare per arrivare a un ambiente costruito con un consumo minimo di energia e di carbonio e con la massima resilienza e comfort, la recentissima revisione della EPBD rappresenta un passo importante verso la sostenibilità e la transizione energetica.

L'ampiamiento degli obiettivi di decarbonizzazione rispetto a una cornice più ampia dell'analisi, che è quella dell'intero ciclo di vita dell'opera co-

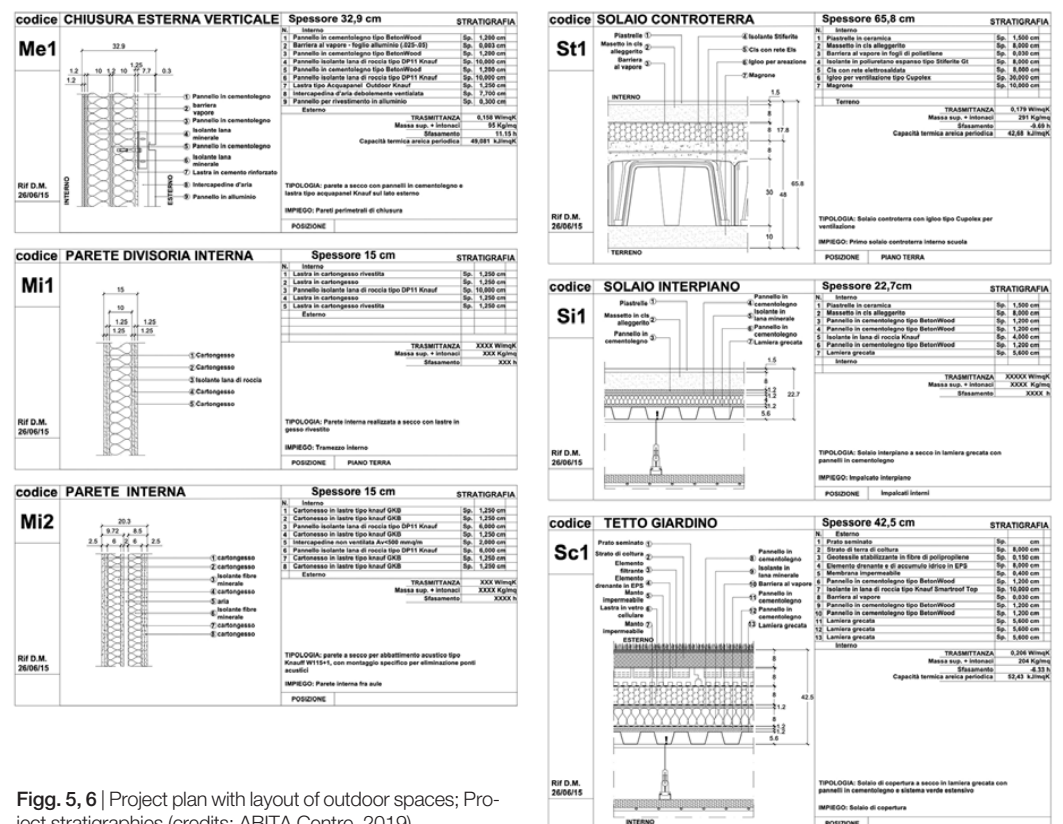
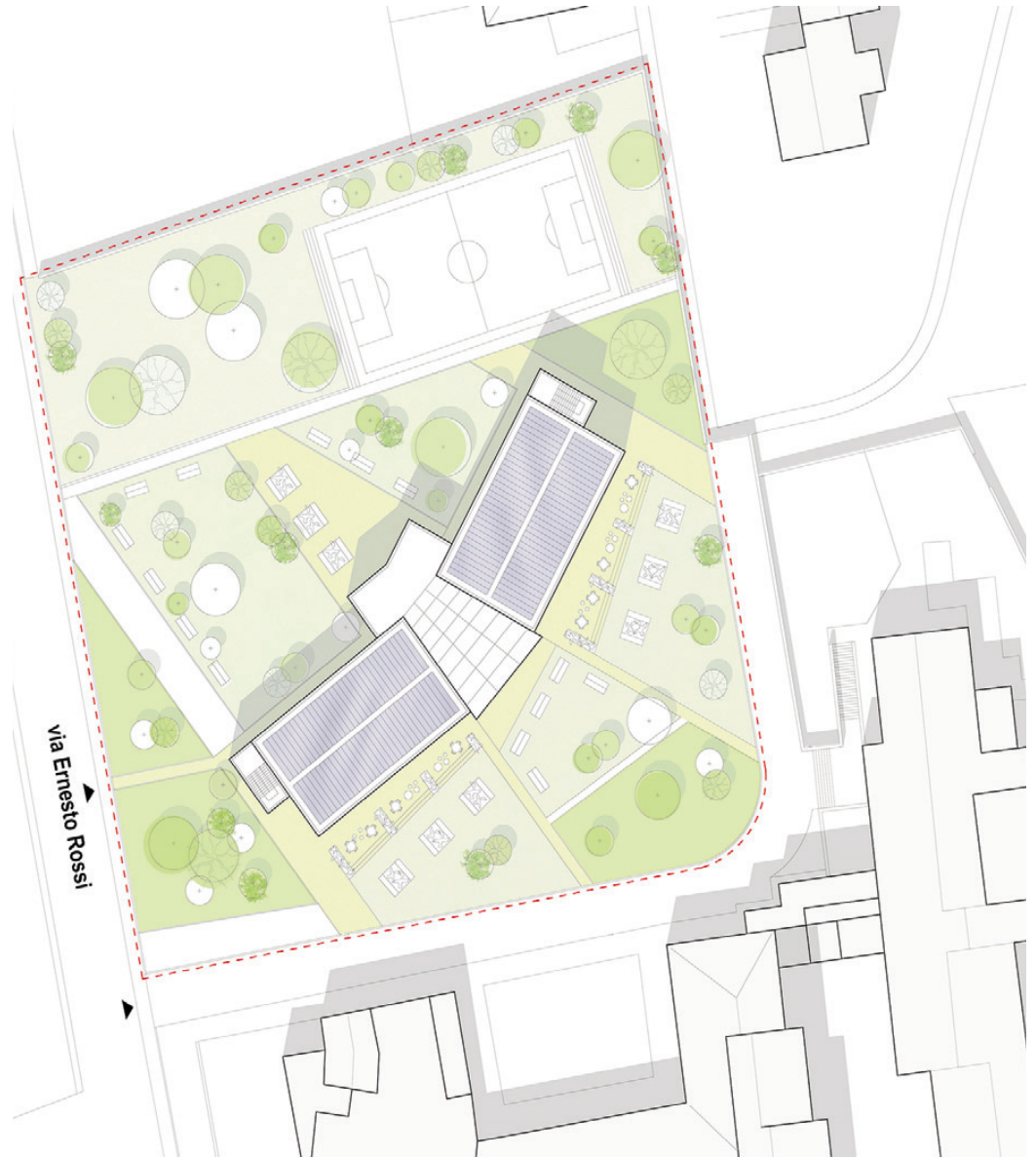
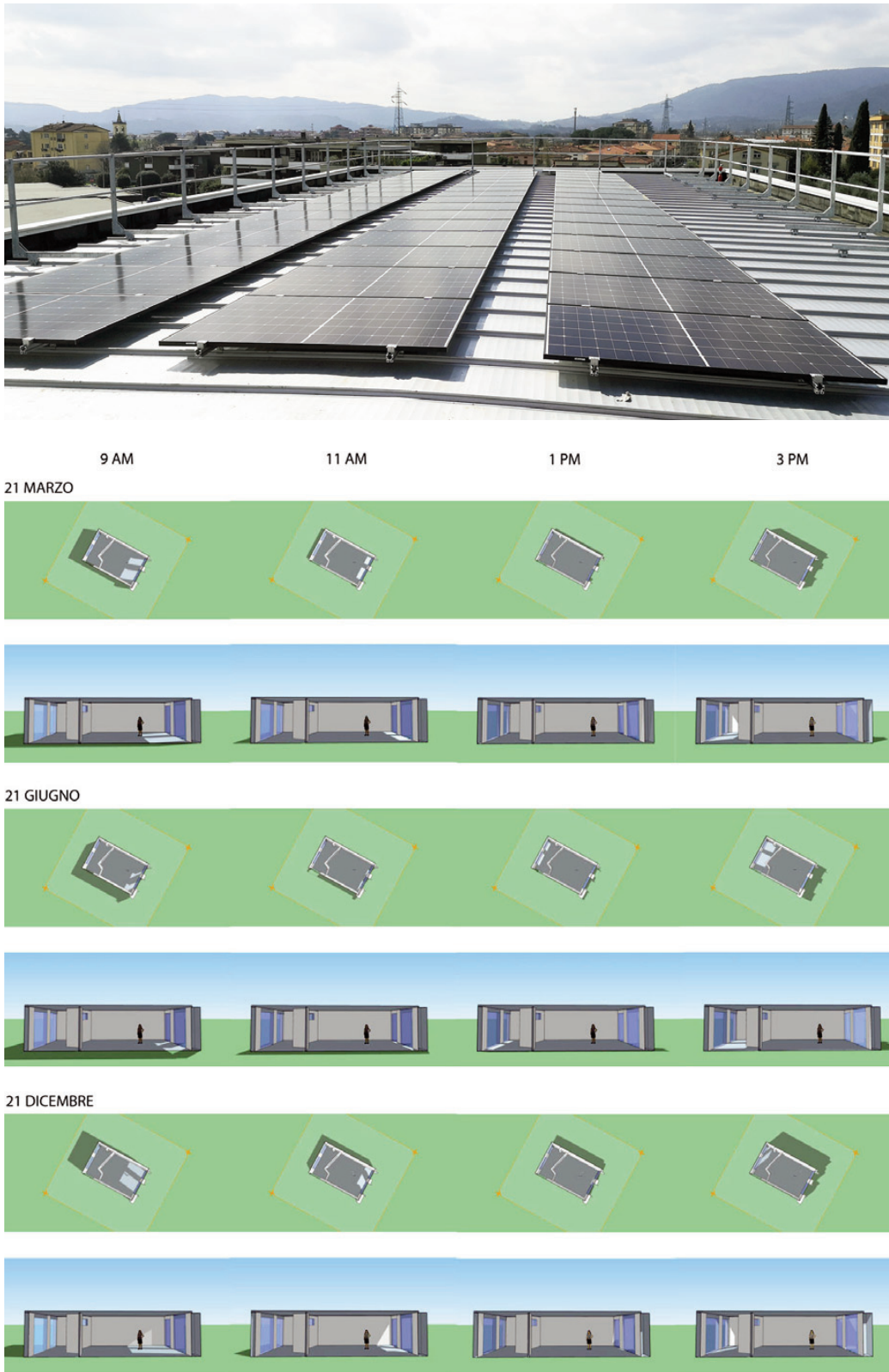


Fig. 5, 6 | Project plan with layout of outdoor spaces; Project stratigraphies (credits: ABITA Centre, 2019).



Figg. 7, 8 | Photovoltaic roof system; Sunlight analysis of classrooms (credits: ABITA Centre, 2019).

struita, rappresenta una sfida nonché una opportunità per tutti gli attori della filiera delle costruzioni, dai progettisti ai produttori fino alla stazione appaltante. Si tratta di un vero e proprio cambio di paradigma che porta ad affrontare la questione della contabilizzazione e mitigazione delle emissioni, riferite alle fasi di produzione, costruzione e fine vita, a cui si aggiunge (come modulo indipendente) la fase D 'benefici e carichi oltre il ciclo di vita', che permette di valutare i potenziali benefici e/o impatti relativi a processi circolari di riuso, recupero o ri-

ciclo (Giordano and Andreotti, 2023). L'introduzione in Italia dei CAM per l'affidamento di servizi di progettazione ha rappresentato un importante primo passo verso una riduzione degli impatti degli interventi di nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici pubblici secondo un'ottica del ciclo di vita, portando il progettista, sin dalle prime fasi di concepimento dell'opera, a ragionare e concepire il manufatto da una diversa angolazione, quella appunto del Life Cycle Thinking.

Nonostante ciò sono ancora pochi gli studi che

analizzano come l'integrazione di criteri di eco-progettazione, in ottica LCT e nel rispetto dei CAM nella riqualificazione e/o realizzazione di edifici scolastici, possa guidare il progettista alla riduzione dei consumi e degli impatti ambientali.

Per raggiungere l'obiettivo di un'ampia diffusione delle strategie finalizzate alla riduzione dell'energia incorporata e delle emissioni di gas serra nell'intero ciclo di vita è necessario lavorare su casi sperimentali che consentano di evidenziare gli esiti raggiunti, ma riescano anche a comunicare in modo chiaro e trasparente anche il processo di valutazione sottostante.

Le sperimentazioni dovrebbero riferirsi a quelle ricerche in atto in ambito internazionale che indagano sulla messa a punto di metodologie, valori soglia e target di riferimento, tutti elementi essenziali nell'ottica di una effettiva riduzione dell'uso delle risorse e della mitigazione degli impatti ambientali. In quest'ottica il presente studio intende mostrare come raggiungere il target nZEB, garantendo adeguate condizioni di comfort misurabili in termini di PMV con strumenti di simulazione adeguati, senza rinunciare a elevati standard ambientali, attraverso la scelta oculata di materiali dotati di adeguate certificati EPD, assemblabili a secco e valutabili in termini di reversibilità a fine ciclo vita.

L'approccio metodologico interdisciplinare adottato nel caso della realizzazione di nuovi edifici scolastici potrà essere esteso a un più ampio patrimonio edilizio, anche non pubblico, fornendo un avanzamento nella definizione di una metrica di raffronto delle prestazioni ambientali tra edifici. Se la direzione internazionale (Zimmermann, Rasmussen and Birgisdóttir, 2023) è quella di sviluppare un sistema di benchmark per la determinazione di livelli di sostenibilità basati su valori target, gli esiti del presente studio possono concorrere ad alimentare riflessioni e aprire scenari da dibattere all'interno della Comunità Scientifica. Sviluppi futuri saranno orientati alla implementazione e gestione di aspetti relativi alla progettazione integrata basata sulla modellazione BIM, anche con l'obiettivo di affrontare la dibattuta questione della influenza delle diverse LCA data-source sugli impatti totali del progetto nelle sue diverse fasi.

A zero-emission Europe by 2050 is a complex and multifaceted challenge that each member country has to address with commitment. The construction sector is one of the areas where efforts need to be intensified, as it is responsible for 37% of energy- and process-related CO₂ emissions and 21% of global greenhouse gas emissions (UNEP, 2023). Estimates that could increase significantly in 2035 (Falana, Osei-Kyei and Tam, 2024), especially in light of recent data on the growth of global energy consumption and global GHG emissions in the year 2022, which is 1% higher than in 2021 (IEA, 2023). The construction industry has made numerous efforts to develop strategies and assessment methods to mitigate environmental impacts (Abdelal and Guo, 2022). Also, at the legislative level, several proposals and global policies are promoted by the European Commission aimed at decarbonising the different spheres of the construction sector, particularly at the containment of consumption and net in-use emissions of buildings.

In this framework, the recent revision of the EPBD Energy Performance of Buildings Directive (European Parliament and Council of the European Union, 2024), known as the Case Green Directive, approved in March 2024 by the European Parliament, redefines the way to measure the energy consumption and related climate-changing gas emissions of buildings, extending the analysis from just Operational Energy and associated impacts (Operational Carbon) to Whole Life-Cycle Performance, which implies the calculation of Embodied Energy / Carbon. Suppose the definition of Operational Energy is quite apparent. In that case, the identification of Embodied Energy / Carbon requires a more articulated evaluation as it concerns the sum of the energies and impacts produced in all the phases of the life cycle of the construction according to the logic ‘from the cradle to the grave’, and therefore includes the impacts due to: the production of the individual materials (from the cradle to the grave), to the transport to the construction site, as well as the rehabilitation and maintenance operations in the useful life of the work, to its end of life (Sposito and Scalisi, 2020).

Indeed, in recent years, several studies and researchers have highlighted how, at times, achieving high energy standards means significantly increasing embodied energy (Palumbo and Politi, 2018; Rondinel-Oviedo and Keena, 2022), proposing the adoption of technological solutions that are often unsuitable from a Life Cycle Energy point of view (LCE; Birgisdottir et alii, 2017). Many scholars (Moazzen, Karagüler and Ashrafiyan, 2021) agree on the need to adopt design strategies following a Life Cycle Thinking (LCT) approach, thus contemplating an evaluation of the totality of the actions related to the whole life of the building in order to un-

derstand its energy behaviour and consequently identify the solutions with the lowest environmental impact.

The question of the relationship between Operational Energy and Embodied Energy / Carbon also becomes central in the case of regeneration interventions with demolition and reconstruction of new buildings, which, in line with the strategies of the Renovation Wave for Europe (European Commission, 2020a) and the numerous other recent EU initiatives on the ecological and energy transition at international level – from the European Green Deal (European Commission, 2019) to the Next Generation Europe Economic Development (European

Commission, 2020b) – constitute one of the most relevant topics of the revised EPB4 Directive (Fetting, 2020).

It is interesting to note that funding programmes in almost all European countries are currently in place to renovate the existing public building stock through ‘deep renovation’ or demolition and reconstruction actions to reduce its energy consumption and overall environmental impact. Among the buildings for which there is an urgent need to intervene with joint actions from the energy and structural point of view, school buildings are the most critical and, if redeveloped or built from scratch, can help to spread new solutions and construction process-

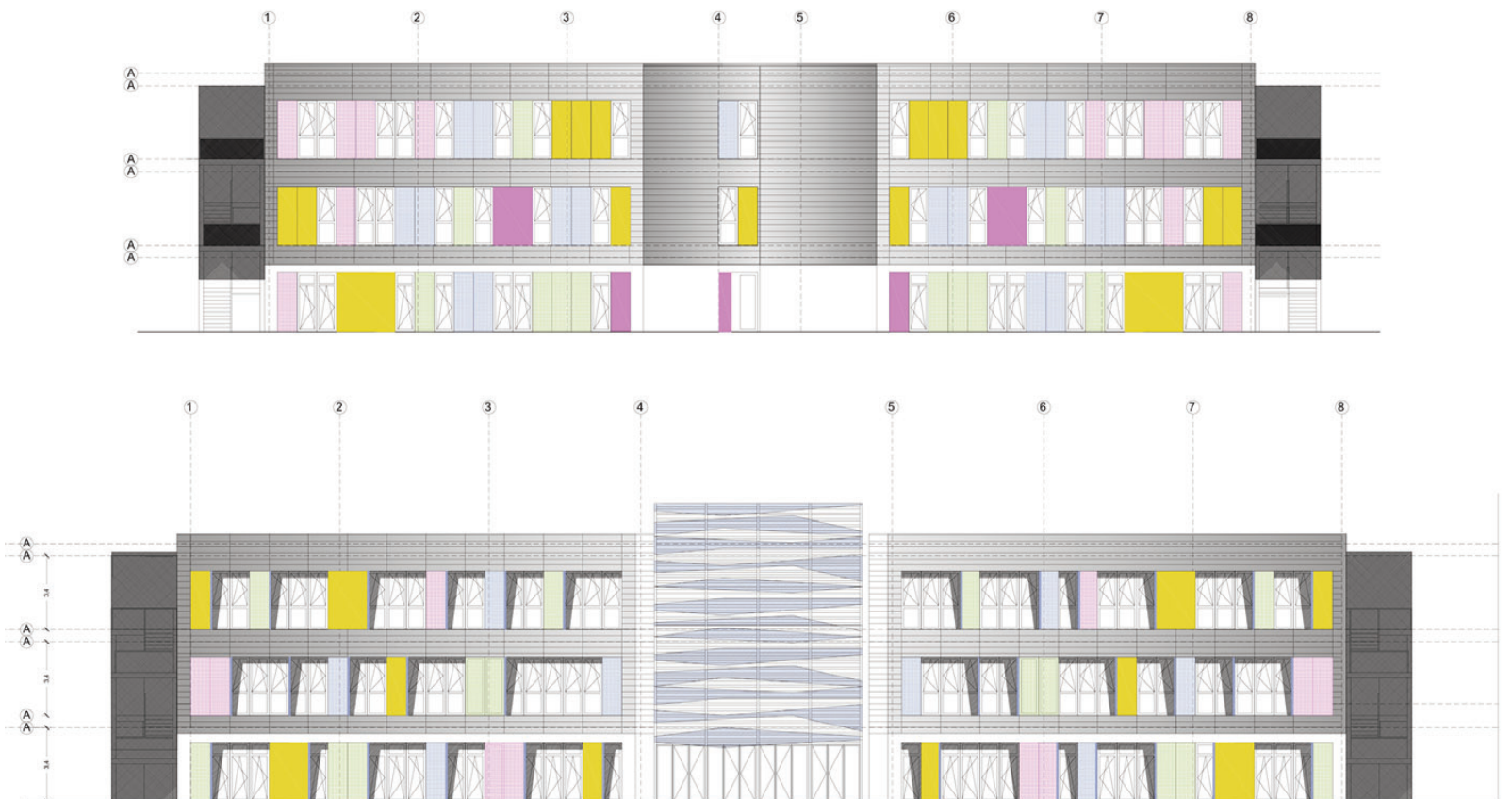


Fig. 9, 10 | The South elevation under construction; Design of exterior elevations (credits: Centro ABITA, 2019).

es inspired by Circular Design principles. It is no coincidence that in the last decade in Europe, numerous funded European projects have chosen schools as case studies and experimental laboratories involving several geographical contexts, including Italy.

The School of the Future – Towards Zero Emission with High-Performance Indoor Environment¹ was funded in early 2011 under the Seventh Framework Programme with the aim of testing envelope and system technology solutions that could reduce the energy consumption of three types of school buildings in four different countries (Denmark, Germany, Italy and Norway), improving their liveability and life-cycle costs (Erhom-Kluttig and Erhom, 2014). The energy retrofit solutions screened by the project, available in a dedicated database, show exciting insights into the actual technical-economic ef-

fectiveness of the interventions in different international contexts.

Approximately one year later, VERYSchool², one of the first European research projects developed within the framework of the European Competitiveness and Innovation (CIP-ICT-PSP-2011), pioneered an innovative tool called VSNavigator for efficient energy management and optimisation in school buildings. It is a user-friendly web tool that – by integrating two consolidated energy measurement and control tools (the Building Energy Management System and an energy modelling) in turn connected to interactive devices (smart meters and smart control) for HVAC and lighting plant regulation – can return possible optimisation actions and benefit estimates (Galata et alii, 2015).

More recent is the Renew School³, aimed at developing effective strategies for the adaptation of

school buildings to nZEB standards through both energy requalification of existing buildings and new construction, with positive effects also on user comfort: the project proposes innovative technological solutions for low environmental impact envelopes. Although relevant for the proposed innovations that adopt an integrated approach with intelligent solutions and tools to control and manage energy flows and comfort, acting on both spatial and more technological aspects, all three cases have the limitation of neglecting the effects related to the ‘embodied’ impacts of the materials and components adopted in the project.

At the same time, Italy, involved as a partner in many of these international projects, has launched a series of joint actions⁴ – promoted by the Ministry of Education and Merit and the National Institute for Documentation, Innovation and Educational Research (INDIRE) – aimed at renovating the national school building heritage mostly built between 1945 and 1980. This building stock is in a state of severe decay and structural danger. It is spatially inadequate to the educational innovations promulgated through the 2013 Guidelines⁵ to overcome the obsolete models of the current regulations dating back to 1975.

This urgency has led to the issuing of a series of competitions over the years and to the provision of specific financing lines, such as EIB loans, which have enabled public administrations to launch regeneration actions (often involving demolition and reconstruction) aimed at the construction of new buildings that, in line with the current Minimum Environmental Criteria (MEC; MITE, 2022), have been designed both to meet nZEB targets and to be environmentally sustainable to a Life Cycle Thinking (LCT) approach to support a broader and more extensive assessment that is often under-researched.

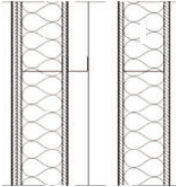
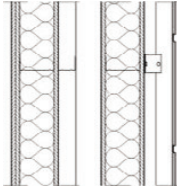
As in the European experiences once again, it is significant to note that, even at a national level, in both new construction and redevelopment projects, the most significant innovations have occurred in experimentation at the scale of the architectural envelope, called upon to manifest the ecological ambition of the project through its transformation.

The scenario outlined so far returns a design and regulatory framework of the last decade that is mainly characterised by the analysis of the operational dimension of the building, paying less attention to other relevant phases of the life cycle, such as those related to the realisation of products and the technologies used. Furthermore, the lack of harmonisation of LCA calculation tools, as well as the limited dissemination of specific geographically contextualised databases, has hindered the development of a more holistic assessment with broader boundaries; however, the latest revision of the EPBD (European Parliament and Council of the European Union, 2024) could give a solid impetus for overcoming this limitation.

The contribution focuses on the methodological approach developed to validate the demolition and reconstruction project of the ‘Cino da Pistoia’ School in the Municipality of Pistoia, designed to respond to the most modern spatial models inspired by the concepts of innovative didactics to guarantee zero energy consumption (through appropriate envelope and system choices) and to achieve the objective of optimising the global impacts (embedded and operational) of its entire life cycle through

Real building	Reference building	Verified
H'_T	$H'_{T,lim}$	✓
0.37 W/m ² K	0.80 W/m ² K	
$A_{sol,est} / A_{sup,utile}$: 0.03	$(A_{sol,est} / A_{sup,utile})_{lim}$: 0.04	✓
$EP_{H,nd}$	$EP_{H,nd,lim}$	✓
50.69 kWh/m ²	57.50 kWh/m ²	
$EP_{C,nd}$	$EP_{C,nd,lim}$	✓
15.20 kWh/m ²	17.77 kWh/m ²	
$EP_{gl,tot}$	$EP_{gl,tot,lim}$	✓
65.05 kWh/m ²	161.69 kWh/m ²	
η_H : 2.22	$\eta_{H,lim}$: 1.34	✓
η_W : 0.63	$\eta_{W,lim}$: 0.53	✓
η_C : 1.64	$\eta_{C,lim}$: 1.26	✓

Tab. 1 | Results of dynamic energy simulations for overall building energy requirements (credit: ABITA Centre, 2020).

Solution P1	Solution P2
	
Vertical opaque pre-assembled drywall with aquapanel finish (plaster)	Vertical opaque pre-assembled drywall with ventilated façade
Thickness: 38.5 cm	Thickness: 46.5 cm
U value: 0.17 W/mqK	U value: 0.15 W/mqK

Tab. 2 | Characteristics of the two vertical opaque envelope solutions analysed in the dynamic simulation phase (credit: Centro ABITA, 2020).

the adoption of circular design strategies (Romano et alii, 2023).

Expressly, the proposed integrated methodology consists of three main phases: 1) verification and evaluation of the building's energy performance concerning the nZEB target of indoor comfort, with a focus on different vertical envelope systems; 2) simplified LCA of the envelope solution with the best energy performance, to production phases and end-of-life scenarios, adopting robust data sources such as Environmental Product Declarations (EPDs); 3) Interpretation of LCA results for energy performance.

The objective is to demonstrate how the regeneration of existing school buildings, through demolition and reconstruction, can be conducted by integrating envelope solutions aimed at improving energy performance and indoor and outdoor comfort with environmental impact assessments in all phases of the building's life, going beyond the simple evaluation of the use phase, that is, starting from the analysis of the effects generated by the production of the materials and building components used in the façade systems and up to the possibility of minimising them by applying circularity principles such as reuse and post-consumer reuse.

The 'Cino da Pistoia' School project | The 'Cino da Pistoia' Secondary School (PT) is part of an existing school complex that includes the 'G. Galilei' Primary School, a gymnasium and a school canteen in which there was an obsolete building, now abandoned and in need of urgent work due to the presence of asbestos and severe structural deficiencies that made it inadequate to the most recent regulations concerning seismic safety, accessibility and energy efficiency. Due to these apparent criticalities, and after a detailed audit phase, we decided to proceed with the demolition and reconstruction of the building to develop a project in line with the MEC requirements on energy saving and environmental impact.

In particular, the development of the architectural project envisaged the adoption of a demanding performance approach centred on the characterisation of the framework of requirements and contextual constraints of a programmatic, technical and environmental nature to which to respond through appropriate compositional, functional and technological choices. The dimensional quantification of the intervention, taking into account the urban-building indices provided by the planning instrument in force, interpreted two main requirements: on the one hand, that of accommodating six didactic cycles of the existing middle school (18 classes in total), and on the other, that of having multifunctional classrooms, easily adaptable and modifiable over time to respond to the evolving needs of contemporary didactic models (Figg. 1, 2).

The scenario that emerged from the preliminary investigations made it possible to prefigure five macro-themes forming the core of strategies preparatory to the subsequent definition of the project concept:

- Sustainability and reduction of the environmental impact through LCA of the design choices adopted, aimed at minimising the anthropic footprint of the intervention, both in terms of energy consumption of the building in the use phase and of the production chain of the materials used for its realisation (cradle-to-cradle approach), accurately assessing

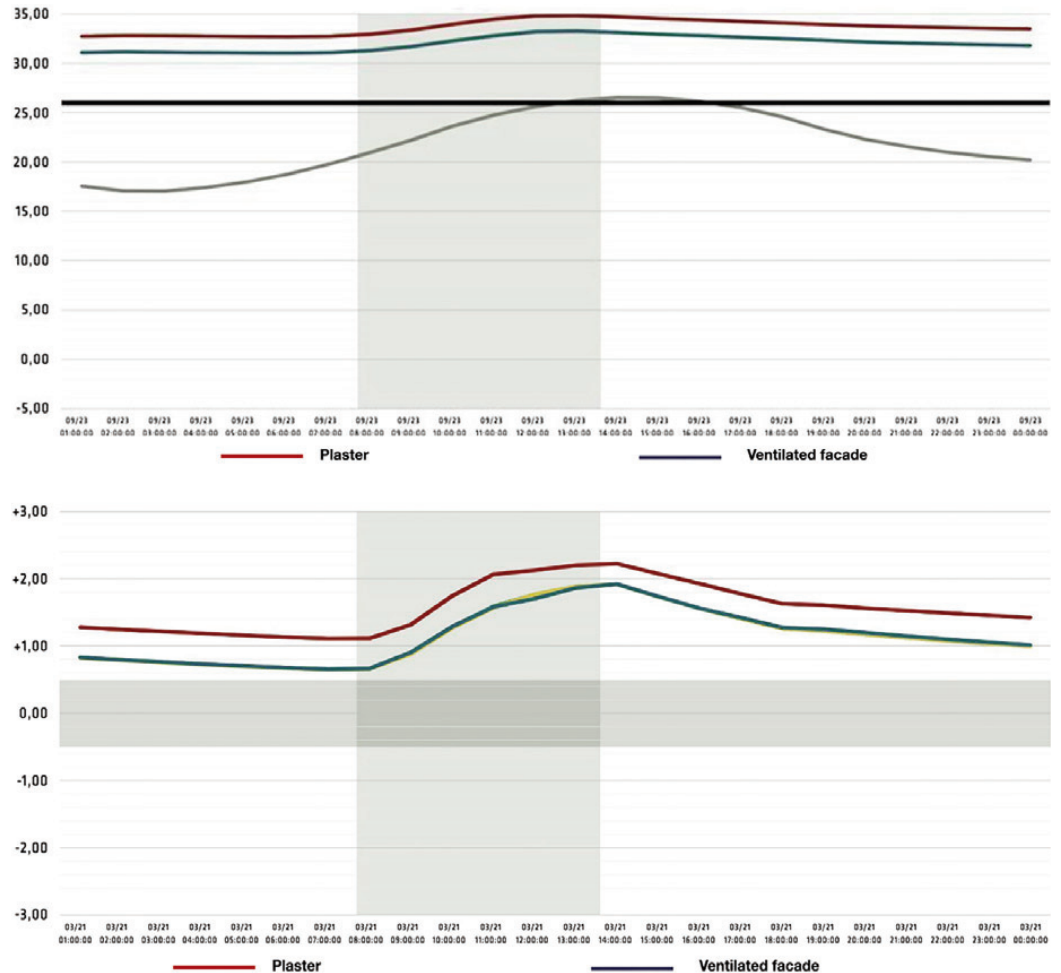


Fig. 11 | Profile of average indoor air temperature on 21 March: Comparison of pre-assembled vertical opaque closure with aqua panel finish and with ventilated aluminium façade finish (credit Centro ABITA, 2020).

Fig. 12 | PMV index analysis: comparison of pre-assembled opaque vertical closure with aqua panel finish and ventilated aluminium façade finish (credit Centro ABITA, 2020).

the potential for selective disposal, recyclability and reusability of the components;

- Energy efficiency and integration of technologies for energy production from renewable sources (photovoltaic and solar thermal), adopting design choices aimed at obtaining efficiency standards that meet the parameters described for nZEB classification;
- Passive strategies for environmental control integrated and declined at the various scales of the intervention, from the open space to the technological-compositional solutions of the envelope, to maximise and enhance the effects of the solar and passive ventilation systems foreseen to reduce the consumption for the air conditioning of the rooms;
- Control of the lighting, acoustic and thermo-hygrometric indoor comfort conditions through modelling with dedicated software to the qualitative and quantitative parameters established by the regulations for performance mentioned above areas;
- Innovative school buildings, through a planimetric distribution based on adopting educational spaces articulated as educational clusters and common spaces designed as laboratories and agoras open to the territory and society.

The actions taken in the final design phase to ensure compliance with the MEC regulation (Fig. 3) trace back to three strategic foresight areas (at the scale of the settlement, individual building, materials and components), articulated as follows:

- Arrangement of the outdoor green areas through the maintenance of most of the essences present in the lot and the planting of new native trees and shrubs with low allergenic power, neither stinging nor thorny (Figg. 4, 5);
- Reduction of soil consumption and maintenance of its permeability (Fig. 4) through the integration of green (3,022 sqm) and paved area with open meshes (4,730 sqm) exceeding 60% of the project area (5,371 sqm);
- Improving energy performance by adopting envelope solutions capable of ensuring high standards of winter insulation and summer thermal inertia (Fig. 6);
- Energy supply by integrating a 17 kW photovoltaic system in the roof and the solar greenhouse screen (Fig. 7);
- Saving water by implementing a rainwater harvesting system that can be reused for irrigation and sanitary drains, employing water flow reduction devices and sanitary fixtures with dual-flush cisterns, and providing a water consumption monitoring system as an educational tool for conscious water consumption;
- Natural lighting, ensuring an average daylight factor of over 2% for all regularly occupied rooms through large window walls facing south-east (Fig. 8);
- Natural ventilation and controlled mechanical ventilation, through: 1) optimisation of the distribu-

Material	Total Volume	Mass	% of Total Mass	End-of-life
	m ³	kg	%	(EPD scenario)
Finish Plaster	4.4	7,118.4	10.5	100% Landfill
Cement bonded particleboard	75.1	3,755.0	5.5	100% Disposal
Rock Mineral Wall	210.9	261.5	0.4	100% Landfill
Mineral Insulation Panel	3.4	342.8	0.5	not declared
Façade system	7.4	20,073.9	29.5	4% Landfill
				96% Benefit D
Sun shade	0.7	1,954.3	2.9	4% Landfill
				96% Benefit D
Aluminium profile windows	32.8	34,501.2	50.7	Glass: 50% landfilling and 50% recycling
				No glass and metals: 5% landfilling and 95% recycling
				No glass and plastic: 5% landfilling and 95% incineration with energy recovery

Tab. 3 | Amount of Material and End-of-Life scenario for façade aluminium cladding (credit: E. Palumbo, 2023).

tion of the building volumes, oriented concerning the North-East / South-West axis to favour, through the opening of the window frames placed on opposite fronts, a natural cross-ventilation effect, necessary to dispose of excess heat; 2) integration of a heat recovery unit in order to minimise energy dispersion in winter;

- Sun protection devices, through the integration of appropriately sized and oriental shading and shading systems; specifically, external movable blinds and fixed vertical blade systems were installed in the classrooms, while the central connecting core shields by horizontal louvres made of DSSC photovoltaic panels;

- Disassemblability, through the use of dry construction techniques to facilitate the disassembly and recovery of all the building components used at the end of the building’s life;

- Recovered or recycled material, paying particular attention to selecting building components containing adequate percentages of recycled or environmentally friendly material.

From a compositional point of view, the new building is divided into three three-storey blocks for a total volume of 9,025.00 mc, in line with the prescriptions of the town planning instruments in force and with the building density forecasts of the surrounding context; features a large central entrance greenhouse conceived not only as a vertical connection and place for relations but also as a tool for passive environmental control (Fig. 9, 10).

Lastly, the material and technological solutions adopted for the architectural envelope of the new building take on the value of recognising the intervention and its function within the peri-urban context in which we find it. It will encourage the creation of new awareness among students and the community of the importance of school buildings in sus-

tainable and innovative energy and environmental use and management strategies.

Energy analyses in dynamic regime | The planning phase includes dynamic energy modelling and simulation to predictively verify achieving the energy-environmental targets identified in the meta-design phase. The goal consists of making compositional and technological choices to achieve the nZEB standard, guaranteeing adequate indoor comfort conditions throughout the year and complying with MEC. The BIM model took into account the geometric and physical characteristics of the building and implemented the material and thermo-hygrometric characteristics of each technological solution adopted. Subsequently, the assumptions regarding the annual occupancy profiles were formulated based on the data provided by the client, with only the classroom areas in question counting.

Usage profiles were formulated daily and hourly according to the teaching activity timetables and the regional school calendar taken from the ‘scuola in chiaro’ portal of the Ministry of Education and Merit. The crowding for each classroom was 25 people, including pupils and teachers, considering that the premises are occupied from 15 September to 10 June, Monday to Friday, for 6 hours a day (from 8:00 to 13:45).

It was then possible to identify the internal energy inputs, as indicated by the technical standard UNI/TS 11300-1:2014 (equal to 4 W/sqm for the global inputs for the school building category) and regarding the occupancy data (25 people per classroom), taking into account, in particular, the heat produced by the lighting system fixtures (9 lighting fixtures per classroom with a power of 30 W each), by the electrical and electronic devices used for teaching (multimedia interactive whiteboards, video

projectors and computers) and by the occupants themselves, based on metabolic activity (heat equal to 70 W/sqm for sedentary activity) and clothing (equal to 1 c.l.o. for the winter period and 0.7 c.l.o. for the rest of the year).

The same operation takes place on thermal dispersion, analysing and quantifying the presence of parasitic air infiltration (equal to 0.1 air changes per hour) and the energy expenditure due to natural ventilation for the possible opening of windows. The calculation included these elements by cautiously assuming possible misbehaviour during the building’s use phase (e.g., opening windows even in winter).

The last element considered in the dynamic modelling concerned the definition of the characteristics of the heating system, which was necessary to accurately determine the building’s energy requirements and the comfort levels perceived by its users. The simulations confirmed that the proposed envelope and system solutions allowed the global energy performance indices required by the regulations to be achieved (Tab. 1).

After completing the energy modelling of the new school in the BIM environment, we proceeded with the dynamic simulation of the building using the EnergyPlus software to analyse how the performance of the new building might change with or without a ventilated façade. Following the analysis of the output data extracted from this dynamic simulation phase, the relevant graphs were observed and extrapolated from the .csv file; this operation was necessary in order to effectively understand the performance offered by the building envelope, both from an energy and comfort point of view, to the main rooms of the building, identified in the classrooms.

In detail, simulations run for three thermal zones (Z02_Aula02; Z16_Aula09; Z39_Aula18), selected based on their position in the building to evaluate different conditions of orientation and consequently of sunshine.

The energy and thermo-hygrometric comfort performances were evaluated for two different envelope configurations (Tab. 2) and studied using four different markers: the average internal temperature of the classrooms compared to the external temperature of the site, the thermal energy accumulation of the surfaces, and the PMV comfort index (predicted mean rating).

The simulated values will be compared to identify which of the analysed packages offered the most significant benefits in the specific case of the new ‘Cino da Pistoia’ School. The data showed how, thanks to the inclusion of the ventilated façade, it is possible to obtain benefits during the last part of the heating period of the winter season. Observing the data extrapolated from the calculation software, it is possible to note that the ventilated wall determines more satisfactory indoor comfort conditions, with the consequent decrease in energy requirements for air-conditioning in the intermediate periods (particularly in the last weeks of March), both in terms of air temperature control (Fig. 11) and PMV index (Fig. 12).

Simplified LCA | The LCA methodology assesses the environmental impacts of buildings on a life-cycle basis, considering both operational and embedded impacts (Birgisdottir et alii, 2017); the former indicates impacts that occur during the use

phase of the building, such as those related to heating and cooling; the latter are related to the construction phase of the building, which includes the extraction, sourcing and transport of raw materials, the production of the materials and products used, as well as the transport to the construction site and then the management of the materials at the end of their useful life (End of Life – EoL), including demolition or de-construction, recycling, landfill or reuse (Fufa et alii, 2018).

Despite the growing interest in circularity issues, most studies on the life cycle assessment of façade systems do not consider EoL. They are often oriented towards a ‘cradle to grave’ approach, thus omitting the use and disposal phases (Cheong et alii, 2024) that can significantly impact the building’s overall impact.

The scientific literature on the circular economy points to the reuse of materials as the process to prefer over recycling and landfill avoidance; this goal is met through selective demolition, which concerns the selection and removal of the materials most suitable to be recycled and/or reused (Cheong et alii, 2024). According to the current state of knowledge, however, it is very complex to identify the optimal environmental benefits between selective demolition for recycling and demolition for reuse.

On this issue, published studies are conflicting, as it is a question of quantifying the burden of the separation and sorting process of building components in the total balance. Pantini and Rigamonti (2020), in line with Ansah et alii (2021), show how the impacts produced by a selective demolition conducted in a well-defined geographical context can be higher and technically more challenging than a traditional procedure if their demolition has not been foreseen already at the design stage, as they strongly depend on the characteristics of the building that needs dismantling, the context and the market in which it is to operate; therefore, assessments of the environmental impacts related to selective demolition needs further evaluation on a case-by-case basis.

Based on these considerations, the objective of the LCA study is to evaluate the contribution of the impacts due to the recycling of at least 70% by weight of the components of the façade of the ‘Cino da Pistoia’ School at the end of its useful life, considering the closure system with ventilated façade, which resulted to be the most performing following the simulations carried out in the design phase.

LCA indicators and results | In line with the simplified reporting options for LCA indicators introduced by the EU Level(s) framework (Dodd, Donatello and Cordella, 2021), the environmental impacts of the façade were calculated by considering an incomplete life cycle and taking into account the following modules: the product phase (A1-A3), the EoL scenario phase (C3-C4) and the net environmental benefits or burdens resulting from the reuse of more than 70% by weight of the façade components (Tab. 3). Therefore, based on the energy simulations conducted, this part of the analysis followed the following steps:

- definition of the end-of-life scenario of the ventilated façade, concerning the indications of criterion 2.4.14 of the building MEC, foreseeing that at least 70% by weight of the materials used in the solution be subject to selective disassembly and demolition

- at the end of its life and be able to be subjected to subsequent recycling;
- choice of relevant impact indicators to assess the environmental impact of the system studied;
- identification and collection of EPDs (Environmental Product Declarations) appropriate to the case study based on the performance and characteristics identified in the energy analysis;
- identification of the information on the disassembly of each façade component and related impact and scenario data in the EPDs previously analysed;
- performing life cycle assessment of the entire façade;
- evaluation of LCA results.

An LCA includes several indicators and parameters to quantify environmental impacts, especially

in the early stages of a project. However, parameters typically decrease to optimise the time and technical burden of calculating a complete LCA (Hur et alii, 2005).

In light of these premises and taking into account the indications that the EeBGuide (Gantner et alii, 2012), considered among the main operational guidelines for conducting an LCA in the present study, provides regarding the choice of indicators in the simplified analysis (Hollberg and Ruth, 2016), we chose to examine three of the leading LCA indicators declared by EPDs: 1) the Global Warming Potential (GWP), which expresses greenhouse gas emissions as tonnes of CO₂ equivalent; 2) the Total use of Renewable Primary Energy Resources (PERT), as the sum of renewable primary

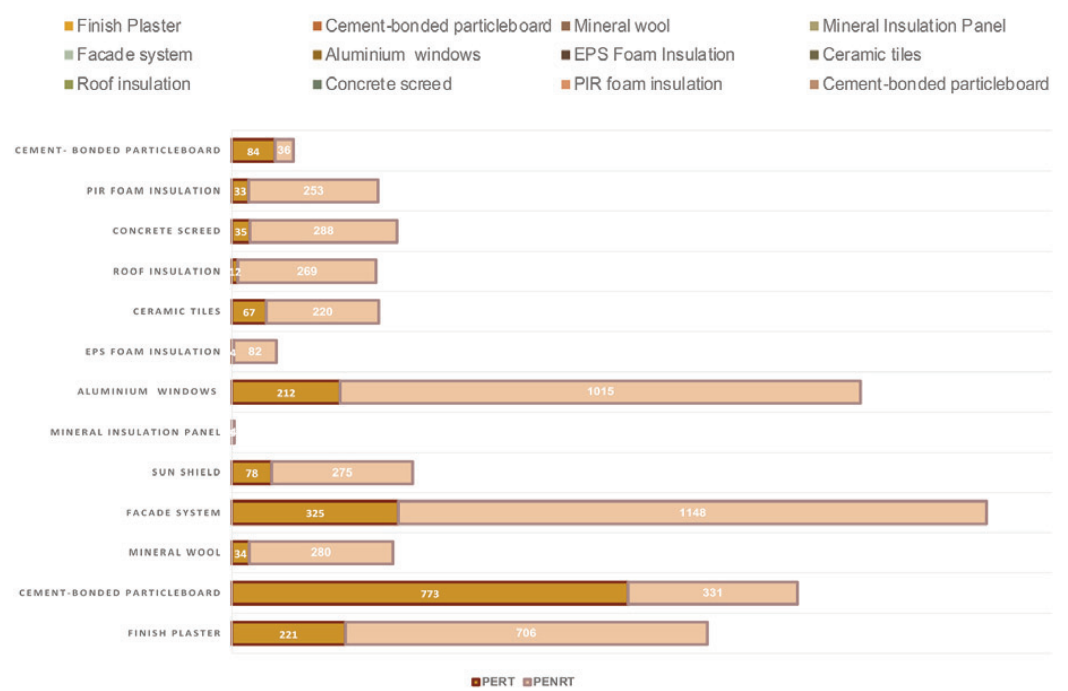
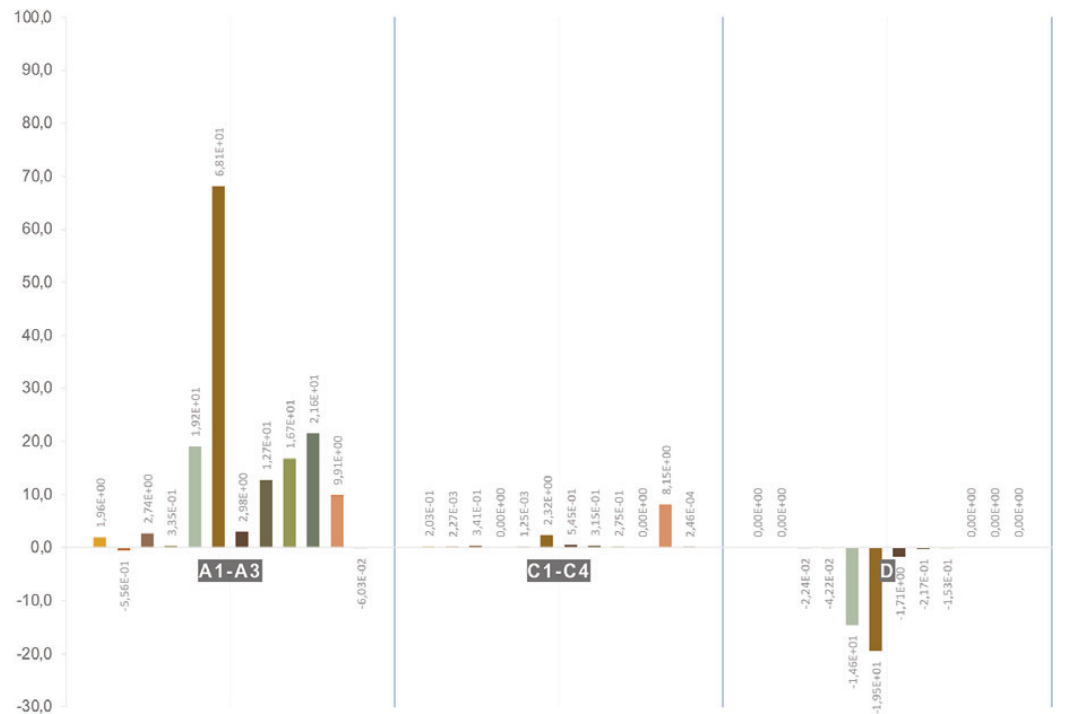


Fig. 13 | GWP results divided by LCA stage, ton CO₂eq (credit: E. Palumbo, 2023).

Fig. 14 | PERT and PERNT results divided by components – GJ (credit: E. Palumbo, 2023).

energy and primary energy resources used as raw materials (GJ); 3) the Total use of Non-renewable Primary Energy Resources (MJ; PENRT) includes non-renewable primary energy and primary energy resources used as raw materials (GJ).

The collection of EPDs followed the definition of LCA objectives and the selection of indicators from the leading European programme operators: EPD Italia, Institut Bauen und Umwelt, etc. V. (IBU) and EPD International. EPDs are the most suitable tools for identifying the environmental impacts of building materials based on LCA (Sposito and De Giovanni, 2023). The sorting of the Environmental Labels took into account the correspondence with the performance characteristics of the materials assessed for the energy part and the validity of the data as a deadline and geographical context. Only for the aluminium cladding did the data come from the EPD, verified by a third party, and published by European Aluminium.

Figure 13 shows the GWP results by life cycle phase. In contrast, Figure 14 shows the indicators of the total use of renewable primary resources (PERT) and non-renewable primary resources (PERNT) for the production phase only (A1-A3). In both cases, the contribution given by aluminium, both as cladding and as a window element, is preponderant in the production phase (A1-A3) to the other components analysed; this high incidence in the production phase is however, balanced by phase D, to be evaluated separately and concerning the benefits deriving from post-use recycling, which in the EPD studies were assumed to be 96% for façade cladding and 95% for window frames.

Conclusions and future developments | Although much work is still needed to achieve a built environment with minimal energy and carbon consumption and maximum resilience and comfort, the recent revision of the EPBD represents an important step towards sustainability and energy transition.

The broadening of decarbonisation targets to a broader framework of analysis, which is that of the entire life cycle of the built work, represents a challenge and an opportunity for all players in the construction supply chain, from designers to manufacturers to the contracting authority. It is a fundamental paradigm shift that leads to addressing the

issue of accounting and mitigation of emissions, referring to the production, construction and end-of-life phases, to which is added (as an independent module) phase D 'benefits and loads beyond the life cycle', which allows assessing the potential benefits and/or impacts related to circular processes of reuse, recovery or recycling (Giordano and Andreotti, 2023).

The introduction in Italy of MEC for the entrusting of design services represented an essential first step towards reducing the impacts of new construction, renovation, and maintenance of public buildings from a life cycle perspective. From the earliest stages of the work's conception, the designer reasoned and conceived the artefact from a different angle, that of Life Cycle Thinking.

Despite this, few studies are still analysing how integrating eco-design criteria, from an LCT perspective and in compliance with MEC in the redevelopment and construction of school buildings, can guide the designer to reduce consumption and environmental impacts.

In order to achieve the objective of wide dissemination of strategies aimed at reducing embodied energy and greenhouse gas emissions over the entire life cycle, it is necessary to work on experimental cases that can highlight the results achieved and clearly and transparently communicate the underlying evaluation process. Experiments must refer to ongoing international research investigating the development of methodologies, thresholds, and benchmarks, all essential to effectively reducing resource use and mitigating environmental impacts.

With this in mind, this study intends to show how to reach the nZEB target, guaranteeing adequate comfort conditions measurable in terms of PMV with appropriate simulation tools without sacrificing high environmental standards through the judicious choice of materials with appropriate EPD certificates that can be dry-assembled and assessed in terms of end-of-life reversibility.

The interdisciplinary methodological approach adopted in the case of the construction of new school buildings can be extended to broader building stock, including non-public buildings, providing an advancement in the definition of a metric for comparing environmental performance between build-

ings. Suppose the international direction (Zimmermann, Rasmussen and Birgisdóttir, 2023) is to develop a benchmarking system for determining sustainability levels based on target values. In this case, the results of this study can contribute to food for thought and open up scenarios for discussion within the scientific community.

Future developments will focus on implementing and managing integrated design aspects based on BIM modelling, as well as addressing the debated issue of the influence of different LCA data sources on the total impacts of the project in its different phases.

Acknowledgements

The research presented results from the Research Agreement 2018/2022) ex-art.15 Law 07/08/1990 n. 241, between the Interuniversity Centre ABITA, the Department of Architecture and the Municipality of Pistoia, entitled 'Towards Zero Energy Buildings. Requalification of the existing building heritage: addresses and guidelines for public administrations', Scientific Responsible Prof. Paola Gallo. We thank all the participants in the Research Group and, in particular: A. Donato, L. Boganini and L. Della Rosa for collaborating in the design and energy simulation phases; A. Sore and E. Belardi for contributing to the creation of the graphic drawings accompanying the project; L. D. Cañete Riquelme for support in the preliminary phase of the LCA, i.e. for LCI data collection and EPD identification.

All the Authors contributed synergistically to the drafting of the article; however, the coordination for its drafting, the introductory paragraph, and the paragraphs 'Simplified LCA'

and 'LCA indicators and results' are to be attributed to E. Palumbo; the paragraph 'The Cino da Pistoia School project' is to be attributed to P. Gallo and R. Romano; the paragraph 'Energy analyses in dynamic regime' to R. Romano; the paragraph 'Conclusion and future development' to E. Palumbo and R. Romano.

The LCA survey and publication were financed by the Department of Department of Engineering and Applied Sciences of the University of Bergamo, through the project entitled 'Multicriteria Evaluation of Building Techniques and Systems for the Definition of Environmental Sustainability Strategies of Buildings' – Scientific Desponsible Dr. Arch. E. Palumbo.

Notes

1) For more information, see the webpage: school-of-the-future.eu/ [Accessed 10 March 2024].

2) For more information, see the webpage: digital-strat-

egy.ec.europa.eu/en/library/veryschool-project [Accessed 10 March 2024].

3) For more information, see the webpage: renew-school.eu/en/home/ [Accessed 10 March 2024].

4) In particular, reference is made to the activities conducted within the School Architectures research aimed at analysing the broad issue of learning spaces to study the impact and effects that school environments can have on teaching and learning processes and, more generally, on the overall quality of school life. For more information, see the webpage: architetturescolastiche.indire.it [Accessed 10 March 2024].

5) In 2013, the MIUR published, while waiting for the technical specifications, the New Guidelines for School Construction to initiate paths of reflection on the relationship between space and learning and exploring new ways of using space: The novelties mainly concerned the description of the five paradigmatic spaces identified as significant models of learning environments, based on a 'performance' type of log-

ic that makes them versatile to learning objectives, provided that they use mobile, comfortable furniture, able to support differentiated teaching activities, often accompanied by the use of digital technologies. For more information, see the webpage: indire.it/progetto/architetture-scolastiche/norme-tecniche/#:~:text=Scarica%20Linee%20guida%20MI-UR%3E%3E [Accessed 10 March 2024].

References

- Abdelaal, F. and Guo, B. H. W. (2022), "Stakeholders' perspectives on BIM and LCA for green buildings", in *Journal of Building Engineering*, vol. 48, article 103931, p. 1-11. [Online] Available at: doi.org/10.1016/J.JOBE.2021.103931 [Accessed 10 March 2024].
- Ansah, M. K., Chen, X., Yang, H., Lu, L. and Li, H. (2021), "Developing a tier-hybrid uncertainty analysis approach for lifecycle impact assessment of a typical high-rise residential building", in *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 167, article 105424, pp. 1-16. [Online] Available at: doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2021.105424 [Accessed 10 March 2024].
- Birgisdóttir, H., Moncaster, A., Wiberg, A. H., Chae, C., Yokoyama, K., Balouktsi, M., Seo, S., Oka, T., Lützkendorf, T. and Malmqvist, T. (2017), "IEA EBC annex 57 evaluation of embodied energy and CO₂eq for building construction", in *Energy and Buildings*, vol. 154, pp. 72-80. [Online] Available at: doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2017.08.030 [Accessed 10 March 2024].
- Cheong, C. Y., Brambilla, A., Gasparri, E., Kuru, A. and Sangiorgio, A. (2024), "Life cycle assessment of curtain wall facades – A screening study on end-of-life scenarios", in *Journal of Building Engineering*, vol. 84, article 108600, pp. 1-30. [Online] Available at: doi.org/10.1016/J.JOBE.2024.108600 [Accessed 10 March 2024].
- Dodd, N., Donatello, S. and Cordella, M. (2021), *Level(s) indicator 1.2 – Life cycle Global Warming Potential (GWP) – User manual – Introductory briefing, instructions and guidance (Publication version 1.1)*. [Online] Available at: susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2021-01/UM3_Indicator_1.2_v1.1_37pp.pdf [Accessed 10 March 2024].
- Erhorn-Kluttig, H. and Erhorn, H. (2014), "School of the Future – Towards Zero Emission with High Performance Indoor Environment", in *Energy Procedia*, vol. 48, pp. 1468-1473. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.egypro.2014.02.166 [Accessed 10 March 2024].
- European Commission (2020a), *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – A Renovation Wave for Europe – Greening our buildings, creating jobs, improving lives*, document 52020DC0662, 662 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1603122220757&uri=CELEX:52020DC0662 [Accessed 10 March 2024].
- European Commission (2020b), *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – Europe's moment – Repair and Prepare for the Next Generation*, document 52020DC0456, 456 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%2020DC0456 [Accessed 10 March 2024].
- European Commission (2019), *Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – The European Green Deal*, document 52019DC0640, 640 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN [Accessed 10 March 2024].
- European Parliament and Council of the European Union (2024), *Directive (EU) 2023/2413 of the European Parliament and of the Council of 18 October 2023 amending Directive (EU) 2018/2001, Regulation (EU) 2018/1999 and Directive 98/70/EC as regards the promotion of energy from renewable sources, and repealing Council Directive (EU) 2015/652*, document 32023L2413, PE/36/2023/REV2. [Online] eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:32023L2413 [Accessed 10 March 2024].
- Falana, J., Osei-Kyei, R. and Tam, V. W. Y. (2024), "Towards achieving a net zero carbon building – A review of key stakeholders and their roles in net zero carbon building whole life cycle", in *Journal of Building Engineering*, vol. 82, article 108223, pp. 1-20. [Online] Available at: doi.org/10.1016/J.JOBE.2023.108223 [Accessed 10 March 2024].
- Fetting, C. (2020), *The European Green Deal*, ESDN Report, December. [Online] Available at: esdn.eu/fileadmin/ESDN_Reports/ESDN_Report_2_2020.pdf [Accessed 10 January 2024].
- Fufa, S. M., Skaar, C., Gradeci, K. and Labonnote, N. (2018), "Assessment of greenhouse gas emissions of ventilated timber wall constructions based on parametric LCA", in *Journal of Cleaner Production*, vol. 197, part 1, pp. 34-46. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.006 [Accessed 10 March 2024].
- Galata, A., Brogan, M., Pedone, G., De Ferrari, A. and Roderick, Y. (2015), "The VERY School Project – Intelligent ISO 50001 Energy Management Decision Making in School Buildings", in Mahdavi, A., Martens, B. and Scherer, R. (eds), *ECPPM 2014 – eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction | Proceedings of the 10th European Conference on Product and Process Modelling, Vienna Austria, 17-19 September 2014*, CRC Press, Leiden (The Netherlands), pp. 855-862. [Online] Available at: eprints.sztaki.hu/8149/1/Galata_855_2796706_ny.pdf [Accessed 09 May 2024].
- Gantner, J., Wittstock, B., Lenz, K., Fisher, M. and Sedlbauer, K. (2012), *EeBGuide Guidance Document – Part B – Buildings – Operational Guidance for Life Cycle Assessment Studies of the Energy-Efficient Buildings Initiative*. [Online] Available at: cordis.europa.eu/project/id/285490/reporting [Accessed 10 March 2024].
- Giordano, R. and Andreotti, J. (2023), "DEC50 – Strumenti per la decarbonizzazione dei manufatti edilizi | DEC50 – Building decarbonisation tools", in *Techne | Journal of Technology for Architecture and Environment*, vol. 26, pp. 207-216. [Online] Available at: doi.org/10.36253/TECHNE-14435 [Accessed 10 March 2024].
- Hollberg, A. and Ruth, J. (2016), "LCA in architectural design – A parametric approach", in *The International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 21, issue 7, pp. 943-960. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s11367-016-1065-1 [Accessed 10 March 2024].
- Hur, T., Lee, J., Ryu, J. and Kwon, E. (2005), "Simplified LCA and matrix methods in identifying the environmental aspects of a product system", in *Journal of Environmental Management*, vol. 75, issue 3, pp. 229-237. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jenvman.2004.11.014 [Accessed 10 March 2024].
- IEA – International Energy Agency (2023), *World Energy Outlook 2023*. [Online] Available at: [iea.blob.core.windows.net/assets/86ede39e-4436-42d7-ba2a-edf61467e070/WorldEnergyOutlook2023.pdf](https://www.iea.org/assets/86ede39e-4436-42d7-ba2a-edf61467e070/WorldEnergyOutlook2023.pdf) [Accessed 10 March 2024].
- MITE – Ministero della Transizione Ecologica (2022), "Decreto 23 giugno 2022 – Criteri ambientali minimi per l'affidamento del servizio di progettazione di interventi edilizi, per l'affidamento dei lavori per interventi edilizi e per l'affidamento congiunto di progettazione e lavori per interventi edilizi (22A04307)", in *Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana*, n. 183 del 06/08/2022. [Online] Available at: gazzettaufficiale.it/eli/id/2022/08/06/22A04307/sg [Accessed 10 March 2024].
- Moazzen, N., Karagüler, M. E. and Ashrafian, T. (2021), "Comprehensive parameters for the definition of nearly zero energy and cost optimal levels considering the life cycle energy and thermal comfort of school buildings", in *Energy and Buildings*, vol. 253, article 111487, pp. 1-26. [Online] Available at: doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2021.111487 [Accessed 10 March 2024].
- Palumbo, E. and Politi, S. (2018), "Efficientamento dell'involucro edilizio – Interazione tra energia inglobata ed energia operativa | Improving building envelope efficiency – Interaction between embedded energy and operational energy", in *Techne | Journal of Technology for Architecture and Environment*, vol. 16, pp. 247-257. [Online] Available at: doi.org/10.13128/Techne-23039 [Accessed 10 March 2024].
- Pantini, S. and Rigamonti, L. (2020), "Is selective demolition always a sustainable choice?", in *Waste Management*, vol. 103, pp. 169-176. [Online] Available at: doi.org/10.1016/J.WASMAN.2019.12.033 [Accessed 10 March 2024].
- Romano, R., Donato, A., Gallo, P. and Della Rosa, L. (2023), "Innovative design solutions for the school of the future – The case Study of the secondary school Cino da Pistoia in Italy", in Bustamante, W., Andrade, M. and Ortiz, P. E. (eds), *Will cities survive? The Future of Sustainable Buildings and Urbanism in the Age of Emergency – PLEA SATGO 2022 – Book of Proceedings Vol. 1*, PLEA, Santiago de Chile, pp. 788-793. [Online] Available at: flore.unifi.it/retrieve/0a745a5b-d1e-4d8e-9a06-97451fb16acd/PROCEEDING-ONLINE-FINAL-MARZO%20%28trascinato%29.pdf [Accessed 10 March 2024].
- Rondinel-Oviedo, D. R. and Keena, N. (2022), "Embodied Carbon – A call to the building industry", in *IOP Conference Series | Earth and Environmental Science*, vol. 1122, issue 1, article 012042, pp. 1-9. [Online] Available at: doi.org/10.1088/1755-1315/1122/1/012042 [Accessed 10 March 2024].
- Sposito, C. and De Giovanni G. (2023), "Affrontare la complessità – Integrare LCA, ERA ed ESA per valutare impatti e benefici antropici sulla biosfera | Dealing with complexity – Integrating LCA, ERA and ESA to assess human impacts and benefits on the biosphere", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 14, pp. 12-39. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1412023 [Accessed 10 March 2024].
- Sposito, C. and Scalisi, F. (2020), "Ambiente costruito e sostenibilità – Materiali riciclati e Design for Disassembly tra ricerca e buone pratiche | Built environment and sustainability – Recycled materials and Design for Disassembly between research and good practices", in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 8, pp. 106-117. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/8102020 [Accessed 10 March 2024].
- UNEP – United Nations Environment Programme (2023), *Keeping the promise*, Annual Report 2023. [Online] Available at: wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/44777/UNEP_Annual_Report_2023.pdf?sequence=19 [Accessed 10 March 2024].
- UNI/TS 11300-1:2014, *Energy performance of buildings – Part 1 – Evaluation of energy need for space heating and cooling*. [Online] Available at: store.uni.com/en/uni-ts-11300-1-2014 [Accessed 10 March 2024].
- Zimmermann, R. K., Rasmussen, F. N. and Birgisdóttir, H. (2023), "Challenges in benchmarking whole-life GHG emissions from renovation cases – Evidence from 23 real-life cases", in *Energy and Buildings*, vol. 301, article 113639, pp. 1-11. [Online] Available at: doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2023.113639 [Accessed 10 March 2024].

ARTICLE INFO

Received	16 March 2024
Revised	10 April 2024
Accepted	17 April 2024
Published	30 June 2024

RIUSO DI COMPONENTI EDILIZI

Sistema di valutazione a supporto delle decisioni negli interventi di redistribuzione interna

REUSE OF BUILDING COMPONENTS

Assessment system to support decisions in indoor re-layout interventions

Giancarlo Paganin, Cinzia Talamo, Nazly Atta, Elisa Tinelli

ABSTRACT

Rispetto ad altri settori industriali il settore delle costruzioni, benché sollecitato da un quadro di politiche internazionali che spingono verso la diffusione dei principi di economia circolare, sembra tardare nell'adozione di nuovi modelli 'a ciclo chiuso' di gestione delle risorse. Tra le barriere che ritardano questa transizione, vi è la scarsa disponibilità di strumenti e metodi per determinare gli esiti complessivi delle azioni di circolarità. Benché siano disponibili metriche per valutare il grado di circolarità di processi e prodotti, non sono ancora molto diffusi strumenti che consentano di valutare i benefici ambientali conseguibili attraverso il riuso di prodotti e sistemi. L'articolo propone un metodo semplificato di quantificazione dei benefici ambientali che possono derivare da pratiche di riuso di componenti edilizi in progetti di ri-qualificazione del costruito.

Compared to other industrial fields, the construction sector, although encouraged by a framework of international policies that push towards spreading circular economy principles, still needs to adopt new 'closed cycle' resource management models. Among the barriers that hinder this transition is the limited availability of tools and methods to determine the overall outcomes of circularity actions. Although metrics to evaluate the degree of circularity of processes and products are currently available, tools that allow the evaluation of the environmental benefits achievable through the reuse of products and systems have yet to be widespread. The paper proposes a simplified method for quantifying the environmental benefits that can derive from the reuse practices of building components in building re-layout projects.

KEYWORDS

economia circolare, industria delle costruzioni, riuso e ri-manifattura, metriche ambientali, benefici ambientali

circular economy, construction industry, reuse and remanufacturing, environmental metrics, environmental benefits

Giancarlo Paganin, Engineer and PhD, is an Associate Professor at the Department of Architecture and Urban Studies (DASTU) of Politecnico di Milano (Italy). His research interests include building evaluation, project verification, risk management and property management. E-mail: giancarlo.paganin@polimi.it

Cinzia Maria Luisa Talamo, Architect and PhD, is a Full Professor at the Department of Architecture, Built Environment and Construction Engineering (DABC) of Politecnico di Milano (Italy). Her research interests include building maintenance, facility management, ICT, and circular economy and industrial symbiosis. E-mail: cinzia.talamo@polimi.it

Nazly Atta, MSc Engineer, Architect Junior and PhD, is a Junior Researcher at the Department of Architecture, Built Environment and Construction Engineering (DABC) of Politecnico di Milano (Italy). Her research interests include digital and ecological transition, ICT, circularity and sustainability in building design and management processes. E-mail: nazly.atta@polimi.it

Elisa Tinelli is an Engineer who graduated in Management of the Built Environment from the Politecnico di Milano (Italy); she carries out research on the topics of sustainable management of buildings and circular economy. E-mail: elisa.tinelli@mail.polimi.it



Il settore delle costruzioni, tradizionalmente caratterizzato dalla generazione di rilevanti impatti ambientali (Norouzi et alii, 2021; Oluleye et alii, 2022), è sempre più spinto a ridefinire le proprie pratiche tradizionali verso un approccio fondato su un uso delle risorse in linea con i principi dell'economia circolare (Osobajo et alii, 2022; Munaro and Tavares, 2023). L'industria delle costruzioni si trova oggi ad affrontare sfide ambientali legate alla produzione di rifiuti, all'uso di energia, all'approvvigionamento di acqua e materie prime (Gallego-Schmid et alii, 2020; Osobajo et alii, 2022). L'Unione Europea include il settore delle costruzioni tra le 'key priority area' verso uno sviluppo sostenibile (European Commission, 2015; Camilleri, 2020; Kanters, 2020; Rahla, Mateus and Bragança, 2021) e individua nei principi dell'economia circolare una potenziale risposta verso il superamento di tali sfide (European Commission, 2015; Osobajo et alii, 2022; Atta, 2023a).

Il quadro normativo europeo in materia di economia circolare, con riferimento al settore delle costruzioni, risulta ricco e complesso: tra gli strumenti principali, nati nel contesto più ampio del Green Deal (European Commission, 2019), è possibile menzionare il Circular Economy Action Plan (CEAP), un pacchetto di riforme che include iniziative lungo l'intero ciclo di vita dei prodotti con l'obiettivo di supportare la transizione da approcci lineari a modalità di produzione e consumo circolari (European Commission, 2020). In particolare il CEAP verticalizza su alcuni 'obiettivi' che includono la progettazione di prodotti circolari, il consumo sostenibile, l'utilizzo 'più a lungo possibile' dei prodotti attraverso pratiche di riuso e rilavorazione e la prevenzione della generazione di rifiuti.

In linea con il CEAP, strumenti come il quadro europeo Level(s) (Dodd, Donatello and Cordella, 2021) mirano a definire criteri e metodologie comuni per la valutazione ambientale degli edifici lungo il loro ciclo di vita, al fine di orientare il progetto verso obiettivi di circolarità e sostenibilità. Alla scala di prodotto iniziative come il Green Public Procurement (GPP; European Commission, 2008) e strumenti di revisione delle norme UE sui prodotti da costruzione (Construction Products Regulation – CPR; European Parliament and Council of the European Union, 2011) – nell'ambito del pacchetto 'Fit for 55' (European Commission, 2021a) – sono rivolti da un lato a stimolare la domanda di prodotti edilizi a basse emissioni di carbonio rispondenti a criteri di circolarità e dall'altro a promuovere una 'progettazione per la circolarità' in linea con le strategie di estensione della vita utile e dei cicli di utilizzo dei prodotti (EPRS, 2024).

Anche in ambito economico-finanziario sono definiti obiettivi sempre più ambiziosi di sostenibilità e circolarità per il settore delle costruzioni, dettati in particolar modo dalla Tassonomia Europea (European Parliament and Council of the European Union, 2020) e dalla Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD; European Parliament and Council of the European Union, 2022): la prima definisce un sistema di classificazione per le attività economiche sostenibili al fine di rafforzare la completezza, l'affidabilità e la comparabilità delle informazioni da fornire agli investitori, in linea con le disposizioni previste dall'Unione Europea in materia di Finanza Sostenibile (European Parliament and Council of the European Union, 2020); la

seconda definisce i termini di divulgazione di informazioni non finanziarie legate all'impatto aziendale e ha l'obiettivo di aumentare la trasparenza delle informazioni su prestazioni e rischi ambientali, sociali e di governance delle aziende.

Rispetto a questo quadro strutturato di riferimenti normativi, diverse sperimentazioni sono state condotte negli ultimi anni nella direzione di investigare il rapporto tra circolarità e strumenti di valutazione dell'impatto ambientale (Zaffagnini and Morganti, 2022; Sposito and De Giovanni, 2023), resilienza (Davino and Bassolino, 2019; De Joanna, Bronzino and Lusi, 2022) e digitalizzazione (Bruno and Carota, 2021; Rigillo, Galluccio and Paragliola, 2023). Tuttavia il settore delle costruzioni sembra ancora tardare, rispetto ad altri settori industriali (Parker et alii, 2015; Butzer and Schötz, 2016), nell'adozione sistematica di nuovi modelli circolari (Munaro and Tavares, 2023), specie quelli basati sulle azioni di riuso e ri-manifattura caratterizzati dall'estensione del ciclo di vita dei prodotti e dall'eliminazione dei rifiuti, sostitutivi delle logiche 'take-make-dispose' tipiche dei modelli lineari.

Tra le barriere (economiche, tecniche, normative, culturali, ecc.) che ritardano una transizione verso la circolarità (Munaro and Tavares 2023; Atta, 2023b) si può individuare anche la poca disponibilità di strumenti e metodi per determinare gli esiti delle azioni di circolarità in termini di 'benefici ambientali' conseguibili (Paiho et alii, 2020). In questo senso potrebbero essere utili metriche semplificate, attualmente pressoché assenti, che consentano ai soggetti decisori di misurare e valutare, anche in fasi iniziali della progettazione, i benefici ambientali derivanti dall'adozione di modelli circolari.

Benché siano disponibili numerose metriche per valutare il grado di circolarità di processi e prodotti – sviluppate sia nell'ambito della ricerca (De Pascale et alii, 2021; Zhang, Han and de Vries, 2021; González et alii, 2021; Khadim et alii, 2022) sia in ambito normativo – non sono ancora diffusi e di uso comune strumenti che consentano di effettuare una valutazione quantitativa dei benefici ambientali conseguibili attraverso il riuso di prodotti e sistemi. Tali supporti sarebbero di fondamentale importanza per il confronto, e la conseguente scelta, tra soluzioni progettuali basate sul riuso, capaci di massimizzare la circolarità, e soluzioni progettuali che prevedono l'acquisto di nuovi prodotti seguendo una logica 'lineare' di approvvigionamento.

A partire da queste premesse, l'articolo presenta gli esiti di una ricerca condotta con l'obiettivo di mettere a punto e sperimentare un metodo semplificato di quantificazione dei benefici conseguibili adottando pratiche di riuso di prodotti e sistemi. Lo strumento può essere di particolare utilità, in primo luogo, per supportare le decisioni circa le possibili strategie di riuso nelle fasi di studio di prefattibilità e di progettazione preliminare – spesso caratterizzate da scarsità di dati rispetto ai livelli di dettaglio informativo richiesto da strumenti di calcolo complessi – e, in secondo luogo, nelle fasi di valutazione post-riuso come strumento semplificato.

Nello sviluppo dello strumento la ricerca ha perimetrato il campo di indagine assumendo tre ipotesi: focalizzare il tema dei benefici ambientali demandando a una fase successiva la questione dei benefici economici e sociali; considerare, tra i

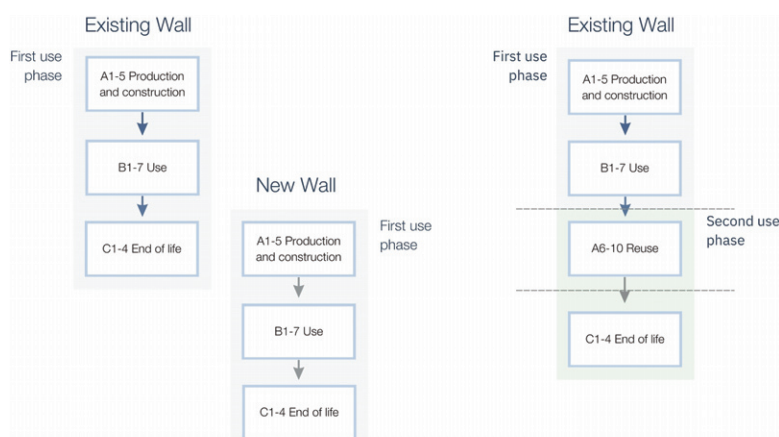
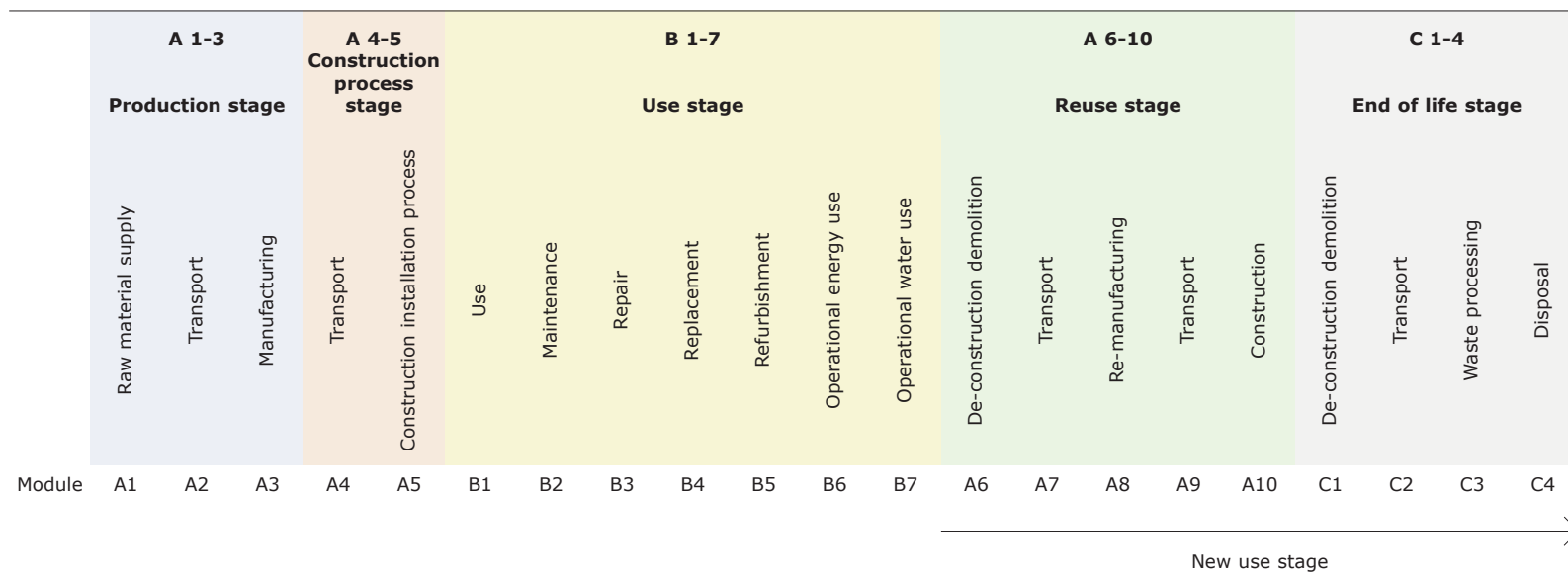
possibili approcci alla circolarità, le azioni di riuso e remanufacturing, nella direzione del diritto alla riparazione trattenuta dal Regolamento 2021/341 (European Commission, 2021b); assumere come campo di osservazione i progetti di redistribuzione nell'ambito dell'edilizia per uffici, in quanto caratterizzati da rapidi cicli di sostituzione e da prodotti edilizi ad alto valore aggiunto.

Per quanto concerne la valutazione dei benefici ambientali il modello sviluppato si basa sulla ripartizione nel corso di più cicli di vita degli impatti ambientali derivanti dalla fase di produzione degli elementi costruttivi che – soprattutto nel caso di componenti edilizi utilizzati in interventi di redistribuzione di uffici – sono quantitativamente più rilevanti rispetto agli impatti derivanti dalla fase di uso del prodotto. Ai fini di una sua verifica, il modello è stato sperimentato su un caso studio – relativo a una redistribuzione interna di spazi uffici a Milano – nel quale si è previsto il riutilizzo di partizioni interne prefabbricate che sono state smontate, rilavorate e riposizionate presso il cantiere per ottenere le nuove configurazioni degli spazi.

Il calcolo dei benefici ambientali è stato effettuato mettendo a confronto una soluzione che prevedesse l'approvvigionamento di nuove pareti prefabbricate con le stesse caratteristiche delle precedenti (scenario lineare) e una soluzione che invece prevedesse il riuso delle stesse pareti presenti sul sito (scenario alternativo circolare). I valori di impatto ambientale per unità di parete sono stati desunti dalla Dichiarazione Ambientale di Prodotto (EPD) del fornitore delle pareti e la valutazione dei benefici si è concentrata solo su alcuni dei parametri previsti dal quadro di riferimento della norma UNI EN 15804:2021 ritenuti più rappresentativi dell'impatto ambientale legato al consumo di risorse.

L'articolo si pone l'obiettivo di contribuire alla discussione sulla circolarità in architettura proponendo un punto di vista, ancora relativamente poco diffuso, orientato alla misurazione degli effetti finali della circolarità piuttosto che alla sola misurazione del tasso di circolarità vero e proprio. A tal fine viene in primo luogo descritta la metodologia adottata per la messa a punto di un metodo di valutazione dei benefici ambientali derivabili dall'adozione di azioni di riuso di componenti edilizi in interventi di riqualificazione del costruito; successivamente viene presentata una sperimentazione della applicazione del metodo a un caso di studio di bassa complessità relativo a redistribuzione di spazi interni in un edificio per il terziario; da ultimo si discutono le potenzialità e le limitazioni del metodo proposto anche alla luce di quanto emerso dalla fase di sperimentazione.

Sviluppo del metodo | La valutazione dell'impatto ambientale del riciclo dei materiali è stata a lungo discussa (Ekvall and Tillman, 1997) tuttavia il modo in cui valutare il riutilizzo dei componenti edilizi è ancora fortemente dibattuto poiché i metodi esistenti differiscono tra loro per quanto riguarda la ripartizione degli impatti nei vari cicli di vita di un componente. La caratteristica principale del riutilizzo è che la durata di vita di un componente è distribuita su più cicli di vita dell'edificio: numerosi contributi di letteratura (Frischknecht, 2010; Allacker et alii, 2017), norme e standard (ISO 14040:2006; ISO 14044:2006; PAS 2050:2008; BRE Global, 2013; UNI EN 15804:2021) hanno propo-



Tab. 1 | Phases of a product's life cycle, including 'reuse phase A6-A10' (credit: the Authors, 2023).

Fig. 1 | Diagram of the two scenarios (credit: the Authors, 2023).

Tab. 2 | WoodWall materials and weights (source: EPD Citterio, 2019).

Next page

Fig. 2 | The single glass partition: technical drawing; Image of the WoodWall (source: EPD Citterio, 2019).

Fig. 3 | Image of the WoodWall (source: EPD Citterio, 2019).

Component	WW/solid (kg)	WW/double glass (kg)	WW/single glass (kg)	WW/lateral single glass (kg)
Glass, laminated	-	464.47	232.2	232.2
Particleboard	113.38	-	-	-
EPDM	36.19	0.14	0.14	0.14
Galvanised steel, profiles	32.43	-	-	-
Hardwood	13.8	23.52	26.88	26.93
Polyester	9.89	-	-	-
Coating	8.9	1.77	1.37	1.86
Aluminium, profiles	4.76	-	-	-
Galvanised steel, hardware	2.65	0.29	0.19	0.29
Polycarbonate	-	1.2	0.3	-
Galvanised steel, screws	1.7	0.49	0.59	0.66
Aluminium, hardware	0.74	0.89	0.43	0.77
Steel, hardware	0.67	0.08	0.22	0.02
Polyurethane foam	-	0.19	0.19	0.1
ABS	-	0.05	-	0.02
Total	181.23	439.29	262.52	263.3

sto vari metodi per valutare gli impatti ambientali in più cicli di vita ma non sempre sono utili a valutare in modo accurato i benefici legati al riutilizzo degli edifici o dei loro componenti. Ai fini delle valutazioni di impatto ambientale il riutilizzo di un prodotto di solito non viene considerato come una 'seconda vita' del prodotto stesso ma integrato nei suoi effetti all'interno della fase di utilizzo; in questo modo non risulta agevole scorporare i diversi impatti ambientali e attribuirli ai diversi cicli di vita.

Per lo sviluppo del metodo è stata proposta un'integrazione alla sequenza delle fasi del ciclo di vita tipicamente utilizzata negli studi LCA per permettere di calcolare i benefici ambientali dati dal riutilizzo di un prodotto. Le diverse fasi del ciclo di vita considerate in una LCA in accordo alla EN 15804 sono: A1-A3 fasi di produzione, A4-A5 fasi del processo di costruzione, B1-B5 fasi di utilizzo e C1-C4 fasi di fine vita. Tra i vari metodi proposti per valutare gli impatti ambientali su più cicli di vita è stato preso in esame il cut-off method (De Wolf, Hoxha and Fivet, 2020), che assegna il 100% degli impatti della produzione al primo ciclo di utilizzo dei componenti e lo 0% di questi impatti ai cicli di utilizzo successivi secondo la formula

$$I = (1 - R_1) \cdot I_P + I_C + I_U + R_1 \cdot I_R + (1 - R_2) \cdot I_D$$

con: I = impatto ambientale; I_P = impatto ambientale della produzione; I_C = della costruzione; I_U = dell'uso; I_R = del riutilizzo; I_D = dello smaltimento; primo ciclo d'uso, $R_1 = 0$ e $R_2 = 1$; ultimo ciclo d'uso, $R_1 = 1$ e $R_2 = 0$.

Sulla base della letteratura, della norma PAS 2050:2008 e del metodo cut-off citato, è stata introdotta una nuova fase nel ciclo dell'approccio LCA denominata 'fase di riutilizzo A6-A10' (Tab. 1). Per un prodotto al secondo utilizzo viene quindi considerata solamente la fase di riutilizzo A6-A10 e la fase di fine vita C1-C4 per il nuovo ciclo di vita dell'elemento, escludendo le fasi precedenti in quanto gli impatti ambientali associati sono già stati contabilizzati nel primo ciclo di vita. Dal metodo cut-off

$$I = (A6-A10) + (C1-C4)$$

La fase A6-A10 comprende le seguenti attività:

- A6 Disassemblaggio e/o demolizione del componente usato per separare i materiali e i componenti per il successivo riutilizzo;
- A7 Trasporto, ovvero il momento dopo lo smontaggio nel quale i materiali vengono trasportati nel luogo di ri-manifattura; le decisioni sulle modalità di trasporto, sui veicoli (con le relative emissioni di gas a effetto serra) e sull'ubicazione delle strutture attraverso le quali il prodotto viaggia verso il mercato contribuiscono collettivamente a formare l'impronta ambientale di un prodotto;
- A8 Ri-manifattura, fase nella quale i componenti smontati vengono lavorati o ripristinati per essere riutilizzati; questa fase è considerata necessaria ed essenziale per il corretto riutilizzo dell'elemento;
- A9 Trasporto dei componenti rigenerati al sito di assemblaggio per un ulteriore utilizzo;
- A10 Costruzione, ovvero la fase di installazione in opera dei componenti rigenerati per il loro nuovo utilizzo.

Lo strumento proposto mira a utilizzare i dati derivati da un'analisi LCA preesistente dei prodotti riutilizzati concentrandosi sulle differenze negli impatti legati specificamente alla produzione.

Sperimentazione del metodo e caso studio | Il modello sviluppato è stato applicato a un caso studio di riuso di partizioni interne e componenti di arredo di un edificio adibito a uffici a Milano soggetto a interventi di redistribuzione interna; il caso studio è servito ai fini della validazione del modello per valutare il reale beneficio ambientale derivante dal riuso. Il caso di studio è un progetto sviluppato da un'azienda internazionale che fornisce servizi di consulenza e gestione immobiliare di alta qualità per investitori, proprietari e conduttori.

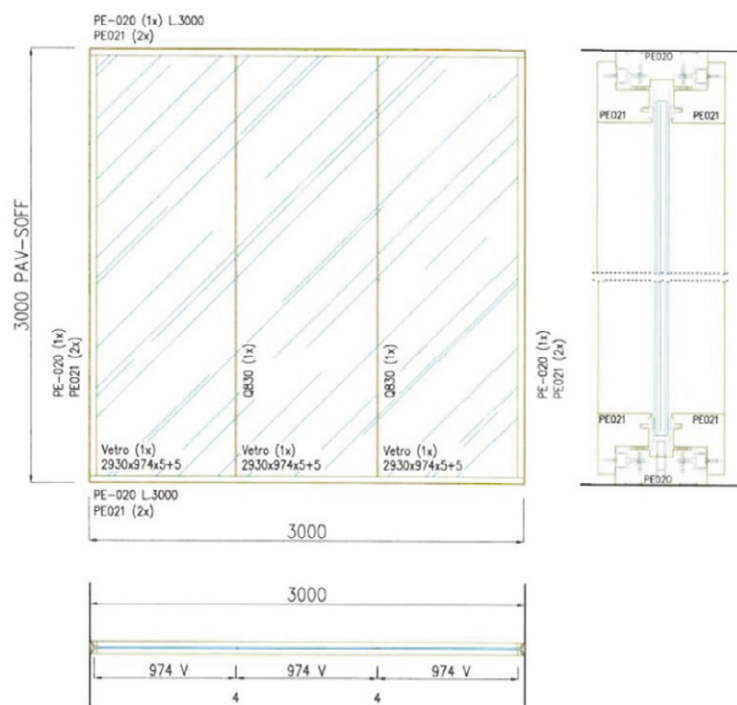
L'obiettivo del progetto è ridisegnare la distribuzione degli uffici in modo da poterli collocare tutti su due soli piani (3.368 mq), mentre la richiesta del committente è di mantenere e riutilizzare tutti i mobili e le pareti divisorie esistenti per motivi economici e ambientali: nell'ambito del caso di studio si è quindi deciso di riutilizzare le pareti divisorie nella nuova distribuzione. L'obiettivo della

ricerca è evidenziare in modo empirico e basato su dati reali che l'approccio del riutilizzo delle pareti divisorie interne dell'edificio riduce l'impatto ambientale e l'uso delle risorse rispetto al caso base di utilizzo di pareti approvigionate ex novo; la verifica si basa su un'analisi dei dati LCA ed EPD forniti dall'azienda produttrice delle pareti Citterio SpA.

Sono stati definiti due scenari per valutare in che modo l'approccio di riutilizzo delle pareti divisorie all'interno dello stesso edificio possa ridurre l'impatto ambientale del progetto (Fig. 1): 1° Scenario - Acquisto di nuove pareti divisorie; 2° Scenario - Riutilizzo delle pareti divisorie esistenti nello stesso edificio (sviluppato nel progetto). In particolare, ai fini dello studio, sono stati confrontati gli impatti ambientali considerati rilevanti per la circolarità: GWP (potenziale di riscaldamento globale, fossile e uso del suolo), ADPF (potenziale di esaurimento abiotico delle risorse fossili), ADPE (potenziale di esaurimento abiotico delle risorse non fossili) e WDP (uso dell'acqua).

Unità funzionale | Per entrambi gli scenari è stata presa in considerazione la parete divisoria a vetro singolo (Tab. 2). Lo studio LCA dell'azienda è stato condotto su una parete di 3x3 m e in questo caso i risultati sono stati adattati alle quantità totali di pareti riutilizzate all'interno del progetto (Figg. 2, 3). Nello studio e nella EPD non sono dichiarati valori di impatto per la fase di utilizzo B (Tab. 3), mentre nel progetto sono state riutilizzate diciannove pareti divisorie, dieci delle quali sono state modificate in loco per adattarsi alla nuova redistribuzione, per una superficie totale pari a 222,24 mq.

Scenari | Per il primo scenario sono state considerate tutte le fasi presenti nella valutazione del ciclo di vita (LCA) del prodotto, poiché le pareti sono installate e prodotte interamente ex novo; sono state quindi considerate le fasi di produzione A1-A3 e di fine vita C1-C4 (Tab. 4). Nel secondo scenario è stato applicato il modello sviluppato che assegna gli effetti ambientali della fase di pro-



Module	A 1-3 Production stage			A 4-5 Construction process stage		B 1-7 Use stage							C 1-4 End of life stage				D Benefits and loads beyond the system boundaries
	Raw material supply	Transport	Manufacturing	Transport	Construction installation process	Use	Maintenance	Repair	Replacement	Refurbishment	Operational energy use	Operational water use	De-construction demolition	Transport	Waste processing	Disposal	Reuse, recovery and recycling potential
	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
	X	X	X	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	X	X	X	X	X

Tab. 3 | Declared modules considered for the LCA analysis (source: EPD Citerrio, 2019).

duzione A1-A3 al primo ciclo di vita dell'elemento; in questo scenario vengono considerate solamente la nuova 'fase di riutilizzo A6-A10' e la fase di fine vita C1-C4 (Tab. 5), e in particolare:

- A6 De-costruzione / Demolizione, ovvero il processo di disassemblaggio del componente usato per separare materiali e componenti per il successivo riutilizzo; questa fase è assimilabile alla fase di decostruzione C1 e pertanto sono stati assunti gli stessi valori di impatto ambientale da EPD (Tab. 6);
- A7 Trasporto; il terzo piano dell'edificio è stato utilizzato come area di stoccaggio e ri-manifattura delle pareti; pertanto l'impatto del trasporto è stato considerato nullo;
- A8 Ri-manifattura; i lavori di adattamento delle pareti al loro nuovo utilizzo è stato condotto in loco; non essendo disponibili i dati effettivi del cantiere (che era stato concluso prima del presente studio) per determinare gli impatti di questa fase si è considerato tale valore pari a zero;
- A9 Trasporto; come per A6 anche il trasporto dopo la ri-manifattura è considerato nullo, poiché le pareti sono stoccate in loco;
- A10 Costruzione, ovvero il processo di messa in opera dei componenti rigenerati per il loro nuovo utilizzo; questa fase può essere assimilata alla fase A5 che, tuttavia, non risulta dichiarata nella LCA assunta come riferimento.

Come nel primo scenario, i risultati sono stati moltiplicati per il numero totale di metri quadrati di pareti riutilizzate.

Confronto dei due scenari | Come ipotizzato dallo studio per tutte le categorie considerate, il secondo scenario, incentrato sul riutilizzo, presenta un impatto significativamente inferiore rispetto al primo caso (Tab. 7). Poiché gli impatti della costruzione delle pareti sono significativamente più alti rispetto alla fase di fine vita, i risultati iniziali suggeriscono che i maggiori impatti ambientali nel primo scenario derivano principalmente dalla fase di estrazione e produzione delle materie prime (Fig. 4). L'impatto totale del potenziale di riscaldamento globale del 1° scenario è di 12,16 t CO₂eq contro le 2,86 t CO₂eq attribuibili al 2° scenario circolare. Il risparmio dovuto all'adozione della stra-

tegia di economia circolare di riuso dei componenti può essere determinato calcolando la differenza tra il potenziale di riscaldamento globale tra il primo e il secondo scenario: ne risulta un risparmio di 9,3 t CO₂eq in termini di potenziale di riscaldamento globale totale, pari a circa il 76%.

Un risparmio significativo è evidenziato anche dagli impatti ADP. Per l'ADP Fossile, nel primo scenario in cui vengono installate nuove pareti, il valore totale è molto alto, pari a 162.357 MJ, guidato principalmente dall'estrazione e dalla produzione del vetro delle pareti, che ha un impatto sostanziale. Nel caso del riutilizzo delle pareti, dove non si considera la produzione, l'impatto ADP Fossile è di conseguenza inferiore, in particolare pari a 18.508 MJ, con un risparmio di circa l'88%. Analogamente, il valore del potenziale di esaurimento abiotico dell'elemento ADPE è significativamente inferiore nel caso del riutilizzo, con un risparmio di oltre il 95%.

Infine per calcolare il WDP sono stati presi in considerazione diversi fattori, come la quantità di acqua utilizzata durante la produzione, l'installazione, l'uso e lo smaltimento dell'elemento costruttivo, includendo sia l'acqua prelevata direttamente per le attività di produzione e costruzione sia l'acqua incorporata nei materiali o nei processi: i risultati mostrano che nel primo caso, in cui viene installata la nuova parete, il valore è di 3.946 mc, mentre nello scenario circolare è di 145 mc.

Conclusioni | L'attuale quadro delle politiche internazionali, in particolare della Comunità Europea, spinge verso la diffusione dei principi di circolarità in maniera diffusa, includendo anche il settore delle costruzioni. Gli strumenti messi a disposizione per supportare tali politiche appaiono in questo momento prevalentemente concentrati sulla misurazione della circolarità piuttosto che sulla valutazione degli effetti che tale circolarità può comportare in termini di minore impatto ambientale. Rispetto a questa considerazione l'articolo propone e sperimenta un metodo semplificato di quantificazione dei benefici ambientali conseguibili adottando pratiche di riuso di componenti edilizi in progetti di redistribuzione interna.

Gli esiti della sperimentazione hanno eviden-

ziato che i benefici ambientali conseguiti nel caso studio attraverso l'applicazione di pratiche di riuso sono percentualmente rilevanti rispetto al tradizionale approccio 'lineare'. Migliorando la consapevolezza sugli esiti delle pratiche circolari lo strumento proposto si può rivelare di particolare utilità per supportare - con un approccio costi-benefici - le decisioni sull'adozione di possibili strategie di riuso nelle fasi di prefattibilità e progettazione preliminare, comunemente caratterizzate da scarsità di dati rispetto al dettaglio informativo richiesto da strumenti di calcolo complessi. Inoltre lo strumento può consentire in fase di valutazione post-riuso di misurare in maniera affidabile e ripetibile le performance di sostenibilità, anche in ottica di comunicazione della sostenibilità stessa.

Benché semplificata, la metodologia esposta fornisce dati attendibili poiché basata su informazioni derivanti da indagini specifiche sul prodotto (EPD) e da processi analitici consolidati e largamente diffusi (LCA). L'applicabilità dello strumento è, di conseguenza, subordinata a tale disponibilità informativa; pertanto l'indisponibilità dei dati contenuti nelle EPD e nelle valutazioni LCA può rappresentare un limite all'applicazione del metodo.

Tuttavia, sulla base di quanto riscontrato nella fase di applicazione, la disponibilità di informazioni sugli impatti ambientali degli elementi edilizi sembra essere sempre più garantita da un quadro di riferimento che spinge gli operatori del settore a dotarsi di documenti accompagnatori dei prodotti da costruzione come studi LCA e EPD. Benché il caso studio presentato sia stato sviluppato limitando il campo di indagine a un singolo componente edilizio, la metodologia proposta può essere scalata anche a livello di sottosistemi o edifici nei loro insieme.

The construction sector, traditionally characterised by the generation of significant environmental impacts (Norouzi et alii, 2021; Oluleye et alii, 2022), is increasingly urged to redefine its traditional practices towards an approach based on the use of resources in line with the principles of circular economy (Osobajo et alii, 2022; Munaro and Tavares,

2023). Currently, the construction industry faces environmental challenges related to waste production, energy use, water supply and raw materials (Gallego-Schmid et alii, 2020; Osobajo et alii, 2022). The European Union includes the construction sector among the 'key priority areas' towards sustainable development (European Commission, 2015; Camilleri, 2020; Kanters, 2020; Rahla, Mateus and Bragança, 2021) and recognises the potential of the circular economy principles to overcome these challenges (European Commission, 2015; Osobajo et alii, 2022; Atta, 2023a).

The European regulatory framework on circular economy concerning the construction sector is rich and complex: among the main tools born in the broader context of the Green Deal (European Commission, 2019), it is possible to mention the Circular Economy Action Plan (CEAP), i.e. a package of reforms which includes initiatives along the entire life cycle of products to support the transition from lin-

ear approaches to circular production and consumption processes (European Commission, 2020). In particular, the CEAP focuses on some key 'objectives', including the design of circular products, sustainable consumption, the 'longest possible' use of products through reuse and remanufacturing practices and the prevention of waste generation. In line with the CEAP, tools such as the European Level(s) framework (Dodd, Donatello and Cordella, 2021) aim to define joint criteria and methodologies for the environmental assessment of buildings throughout their life cycle to orient the project towards circularity and sustainability objectives. At the product scale, initiatives such as Green Public Procurement (GPP; European Commission, 2008) and tools for reviewing EU standards on construction products (Construction Products Regulation – CPR; European Parliament and Council of the European Union, 2011) – in the context of the 'Fit for 55' package (European Commission, 2021a) – are

aimed, on the one hand, at stimulating the demand for low-carbon building products that meet circularity criteria and, on the other hand, at promoting 'design for circularity' approaches in line with life-cycle and use-cycles extension strategies (EPRS, 2024).

In the economic-financial field, increasingly ambitious sustainability and circularity objectives are defined for the construction sector, in particular, dictated by the European Taxonomy (European Parliament and Council of the European Union, 2020) and by the Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD; European Parliament and Council of the European Union, 2022): the first defines a classification system for sustainable economic activities to strengthen the completeness, reliability and comparability of the information to investors, in line with the provisions of the EU Sustainable Finance Package (European Parliament and Council of the European Union, 2020); the second defines

1st Scenario	UM	A1	A2	A3	A1-A3	C1	C2	C3	C4	C1-C4
GWP – total	Kg CO ₂ eq	9,432.85	67.74	159.27	9,659.87	370.40	1,111.20	763.02	251.87	2,496.50
GWP – fossil	Kg CO ₂ eq	10,371.20	67.66	149.89	10,588.75	370.40	1,108.73	20.52	50.87	1,550.52
GWP – land use	Kg CO ₂ eq	15.14	0.03	0.03	15.19	0.01	0.46	0.03	0.05	0.55
ADPF	MJ	142,480.53	1,032.18	664.25	144,176.97	328.42	16,470.45	151.12	1,229.73	18,179.73
ADPE	Kg Sb eq	0.10519	0.00024	0.00023	0.10566	0.00005	0.00380	0.00004	0.00016	0.00405
WDP	m ³	3,802.77	3.09	12.84	3,818.70	17.85	56.79	-3.28	55.81	127.17

Tab. 4 | Results of environmental impacts of 1st scenario (credit: the Authors, 2023).

Indicator	Unit	A1	A2	A3	A1-A3	C1	C2	C3	C4	D
GWP-fossil	Kg CO ₂ eq	4.20E+02	2.74E+00	6.07E+00	4.28E+02	1.50E+01	4.49E+01	8.31E-01	2.06E+00	-1.52E+01
GWP-biogenic	Kg CO ₂ eq	-3.83E+01	2.35E-03	3.83E-01	-3.79E+01	2.63E-03	2.42E-02	3.01E+01	8.15E+00	4.24E+00
GWP-luluc	Kg CO ₂ eq	6.13E-01	1.08E-03	1.15E-03	6.15E-01	4.90E-04	1.87E-02	1.05E-03	1.88E-03	-2.90E-03
GWP-total	Kg CO ₂ eq	3.82E+02	2.74E+00	6.45E+00	3.91E+02	1.50E+01	4.50E+01	3.09E+01	1.02E+01	-1.09E+01
ODP	Kg CFC-11 eq	5.95E-05	6.39E-07	1.78E-07	6.03E-05	1.72E-07	9.76E-06	5.48E-08	6.78E-07	-8.26E-07
AP	mol H+ eq	3.49E+00	1.39E-02	3.17E-02	3.54E+00	7.54E-03	2.28E-01	4.53E-03	1.80E-02	-9.20E-02
EP-freshwater	kg P eq	1.19E-01	1.78E-04	9.18E-04	1.20E-01	1.28E-04	3.38E-03	1.90E-04	2.11E-04	-6.44E-03
EP-marine	kg N eq	6.06E-01	4.78E-03	1.44E-02	6.25E-01	8.61E-03	7.72E-02	2.04E-03	9.09E-03	-1.37E-02
EP-terrestrial	mol N eq	7.03E+00	5.22E-02	1.56E-01	7.24E+00	3.26E-02	8.44E-01	2.01E-02	6.95E-02	-1.44E-01
POCP	kg NMVOC eq	1.79E+00	1.49E-02	3.88E-02	1.84E+00	8.65E-03	2.40E-01	5.12E-03	2.01E-02	-4.07E-02
ADP-minerals&metals	kg Sb eq	4.26E-03	9.61E-06	9.20E-06	4.28E-03	2.02E-06	1.54E-04	1.58E-06	6.54E-06	2.66E-05
ADP-fossil	MJ	5.77E+03	4.18E+01	2.69E+01	5.83E+03	1.33E+01	6.67E+02	6.12E+00	4.98E+01	-1.90E+02
WDP	m ³	1.54E+02	1.25E-01	5.20E-01	1.55E+02	7.23E-01	2.30E+00	-1.33E-01	2.26E+00	-1.49E+00

Tab. 5 | Environmental impact results per unit declared (source: EPD Citterio, 2019).

2nd Scenario	UM	A1	A2	A3	A1-A3	A6	A7	A8	A9	A10	C1	C2	C3	C4	C1-C4
GWP – total	Kg CO ₂ eq	-	-	-	-	370.40	-	763.02	-	-	1,111.20	763.02	251.87	2,496.50	2,496.50
GWP – fossil	Kg CO ₂ eq	-	-	-	-	370.40	-	20.52	-	-	1,108.73	20.52	50.87	1,550.52	1,550.52
GWP – land use	Kg CO ₂ eq	-	-	-	-	0.01	-	0.03	-	-	0.46	0.03	0.05	0.55	0.55
ADPF	MJ	-	-	-	-	328.42	-	151.12	-	-	16,470.45	151.12	1,229.73	18,179.73	18,179.73
ADPE	Kg Sb eq	-	-	-	-	0.00005	-	0.00004	-	-	0.00380	0.00004	0.00016	0.00405	0.00405
WDP	m ³	-	-	-	-	17.85	-	-3.28	-	-	56.79	-3.28	55.81	127.17	127.17

Tab. 6 | Results of environmental impacts of 2nd scenario (credit: the Authors, 2023).

		1st Scenario New walls	2nd Scenario Reuse walls
GWP – total	Kg CO ₂ eq	12,164	2,867
GWP – fossil	Kg CO ₂ eq	12,139	1,921
GWP – land use	Kg CO ₂ eq	16	0.56
ADPF	MJ	162,357	18,508
ADPE	Kg Sb eq	0.11	0.004
WDP	m ³	3,946	145

Tab. 7 | Comparison of the environmental impacts of the two scenarios (credit: the Authors, 2023).

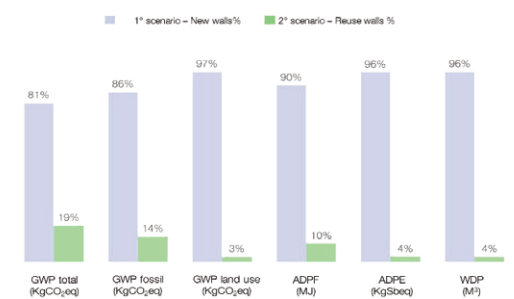


Fig. 4 | Comparison of the environmental impacts of the two scenarios in percentage (credit: the Authors, 2023).

the terms of disclosure of non-financial information linked to the corporate impact and has the aim of increasing the transparency of information on companies' environmental, social and governance performance and risks.

Concerning this structured framework of regulatory references, various experiments in recent years have taken place in the direction of investigating the relationship between circularity and environmental impact assessment tools (Zaffagnini and Morganti, 2022; Sposito and De Giovanni, 2023), resilience (Davino and Bassolino, 2019; Joanna, Bronzino and Lusi, 2022) and digitalisation (Bruno and Carota, 2021; Rigillo, Galluccio and Paragliola, 2023). However, the construction sector still seems to be delayed, compared to other industrial sectors (Parker et alii, 2015; Butzer and Schötz, 2016), in the systematic adoption of new circular models (Munaro and Tavares, 2023), especially those based on reuse and remanufacturing characterised by the extension of the life cycle of products and the elimination of waste, which replace the 'take-make-dispose' logic typical of linear models.

Among the barriers (economic, technical, regulatory, cultural, etc.) to a transition towards circularity (Munaro and Tavares, 2023; Atta, 2023b), it is also possible to identify the lack of availability of tools and methods to determine the outcomes of circularity actions in terms of achievable 'environmental benefits' (Paiho et alii, 2020). In this sense, simplified metrics – currently almost absent – could be helpful, allowing decision-makers to measure

and evaluate, even in the early design stages, the environmental benefits deriving from the adoption of circular models.

Although numerous metrics are available to evaluate the degree of circularity of processes and products – developed both within research (De Pascuale et alii, 2021; Zhang, Han and de Vries, 2021; González et alii, 2021; Khadim et alii, 2022) and in the regulatory field – tools that allow performing a quantitative assessment of the environmental benefits achievable through the reuse of products and systems are not yet widespread and commonly used. These supports would be of fundamental importance in comparing, and consequently choosing, between design solutions based on reuse, capable of maximising circularity, and design solutions that involve purchasing new products following a 'linear' procurement logic.

With this in mind, the article presents the research results conducted to develop and validate a simplified method for quantifying the benefits of adopting reuse practices of products and systems. Firstly, the tool can help support decisions on possible reuse strategies in the pre-feasibility study and preliminary design phases – often characterised by a scarcity of data compared to the levels of information detail required by complex calculation tools – and, secondly, in the post-reuse evaluation phases as a simplified tool.

In the development of the tool, the research scoped the field of investigation by assuming three hypotheses: focusing on the topic of environmental

benefits, leaving the question of economic and social benefits to a subsequent phase; considering, among the possible approaches to circularity, reuse and remanufacturing actions, in the direction of the right to repair outlined by Regulation 2021/341 (European Commission, 2021b); taking re-layout projects in the office building sector as a field of observation, as they are characterised by rapid replacement cycles and building products with high added value.

As regards the evaluation of the environmental benefits, the developed model relies on the distribution over several life cycles of the environmental impacts resulting from the manufacturing phase of the construction elements, which – especially in the case of building components used in office redistribution interventions – are quantitatively more significant than the impacts deriving from the use phase of the product. For its validation, the model was tested on a case study – relating to an indoor re-layout of office spaces in Milan – where prefabricated internal partitions were reused, thus dismantled, reworked and relocated on-site to achieve the new spatial configurations.

Calculations of environmental benefits involved comparing a solution characterised by the procurement of new prefabricated walls with the same characteristics as the previous ones (linear scenario) and a solution involving the re-use of the same walls on site (circular alternative scenario). Environmental impact values per wall unit came from the Environmental Product Declaration (EPD) of the wall

supplier, and the evaluation of the benefits focused only on some of the parameters defined by the reference framework of the UNI EN 15804:2021 standard, considered more representative of the environmental impact linked to the consumption of resources.

The article aims to contribute to the discussion on circularity in architecture by proposing a point of view, still relatively uncommon, oriented towards measuring the final effects of circularity rather than just measuring the actual circularity rate. To this end, it is firstly described the methodology adopted for the development of a method to assess the environmental benefits of adopting actions for the re-utilisation of building components in building redevelopment interventions; then it is presented an experiment on the application of this method to a low-complexity case study concerning the re-layout of the internal spaces of a building for the tertiary sector; finally, the potential and limitations of the proposed method are discussed in the light of the results of the experimental phase.

Development of the method | The evaluation of the environmental impact of the recycling of materials has been widely discussed (Ekvall and Tillman, 1997); however, how to assess the reuse of building components remains highly controversial, as existing methods differ in the distribution of impacts on component life cycles. The main characteristic of reuse is that the lifespan of a component spreads over multiple life cycles of the building: several literature contributions (Frischknecht, 2010; Allacker et alii, 2017), norms and standards (ISO 14040:2006; ISO 14044:2006; PAS 2050:2008; BRE Global, 2013; UNI EN 15804:2021) have proposed various methods for assessing the environmental impacts in multiple life cycles, but they are not always beneficial for accurately evaluating the benefits linked to the reuse of buildings or their components. For environmental impact assessments, the reuse of a product is usually not considered as a 'second life' of the product itself, but its effects embedded within the use phase; in this way, it is not easy to separate the different environmental impacts and attribute them to the distinct life cycles.

Complementing the sequence of life cycle stages typically used in LCA studies to calculate the environmental benefits of product reuse is proposed in the method. The different life cycle phases considered in an LCA according to EN 15804 are: A1-A3 production phases, A4-A5 construction process phases, B1-B5 use phases and C1-C4 end-of-life phases. Among the various methods proposed to assess environmental impacts over multiple life cycles, the cut-off method (De Wolf, Hoxha and Fivet, 2020), offering 100% of production impacts on the first component use cycle and 0% of these impacts on subsequent use cycles was selected, according to the formula

$$I = (1 - R_1) \cdot I_P + I_C + I_U + R_1 \cdot I_R + (1 - R_2) \cdot I_D$$

where: I = environmental impact; I_P = environmental impact of production; I_C = of construction; I_U = of use; I_R = of reuse; I_D = of disposal; first cycle of use, $R_1 = 0$ and $R_2 = 1$; last cycle of use, $R_1 = 1$ and $R_2 = 0$.

Based on the literature, PAS 2050:2008 and the cut-off method mentioned above, a new step became part of the cycle of the LCA approach called 'reuse phase A6-A10' (Tab. 1). For a product in its second use, only the reuse phase A6-A10

and the end-of-life phase C1-C4 count towards the new life cycle of the element, excluding the previous phases as the associated environmental impacts already accounted for in the first life cycle. From the cut-off method:

$$I = (A6-A10) + (C1-C4)$$

Phase A6-A10 includes the following activities:

- A6 Disassembly and/or demolition of the component used to separate the materials and components for subsequent reuse;
- A7 Transport, i.e. the moment when, after disassembly, materials come to the remanufacturing site; decisions about the transportation modalities, the vehicles (with the associated greenhouse gas emissions), and the location of the facilities through which the product reaches the market collectively contribute defining the environmental footprint of the product;
- A8 Remanufacturing, the phase in which dismantled components are machined or restored for reuse; this phase is considered essential for the proper reuse of the element;
- A9 Transport of remanufactured components to the assembly site for further use;
- A10 Construction, i.e. the installation phase of the remanufactured components for their new use.

The proposed tool uses data from a pre-existing LCA analysis of reutilised products, focusing on differences in production-specific impacts.

Experimentation of the method and case study | The developed model was applied to a case study of the reuse of internal partitions and furnishing components of an office building in Milan in the context of indoor re-layout interventions; the case study allows to validate the model by assessing the real environmental benefit deriving from the reuse. The case study is a project developed by an international company that provides high-quality real estate consultancy and management services for investors, owners and tenants.

The project aims to redesign the internal distribution of the offices so that they are all located on just two floors (3,368 sqm), while the request of the client was to maintain and reuse all existing furniture and partition walls for economic and environmental reasons: the decision to reuse the partition walls in the new distribution is part of the case study. The research objective is to highlight empirically and based on actual data that the approach of reusing the partitions of the building reduces the environmental impact and the use of resources compared to the traditional case of using new walls. The verification relies on analysing the LCA and EPD data provided by the wall manufacturing company Citerio SpA.

Two scenarios were defined to evaluate how the approach of reusing the existing partitions within the same building can reduce the environmental impact of the project (Fig. 1): 1st Scenario – Purchase of new partitions; 2nd Scenario – Reuse of existing partitions in the same building (developed in the project). Specifically, the environmental impacts considered relevant for the study are GWP (global warming potential, fossil and land use), ADPF (abiotic depletion of fossil resources potential), ADPE (abiotic depletion of non-fossil resources potential) and WDP (water deprivation potential).

Functional unit | A single-glazed partition wall comes into consideration for both scenarios (Tab. 2). The

LCA study of the company took place on a 3x3 m wall, and the results here match the total amount of walls reused within the project (Fig. 2, 3). No impact values for the B use phase appear in the study and EPD (Tab. 3), while nineteen partition walls are part of the project, ten were on-site modified to fit the new redistribution, with a total area of 222,24 sqm.

Scenarios | All steps in the Life Cycle Assessment (LCA) of the product counted for the first scenario, as the walls are installed and produced entirely from scratch (ex novo); the production phases A1-A3 and end-of-life phases C1-C4 were therefore considered (Tab. 4). In the second scenario, applied was the model developed. Hence, the environmental effects of the A1-A3 production phase occur in the first life cycle of the element; in this scenario, only the new 'reuse phase A6-A10' and the end-of-life phase C1-C4 are considered (Tab. 5), and in particular:

- A6 De-construction / Demolition, i.e. the process of disassembling the used component to separate materials and components for subsequent reuse; this phase is similar to the C1 deconstruction phase and, therefore, the same environmental impact values as the EPD was assumed (Tab. 6);
- A7 Transport; the third floor of the building serves as a storage and remanufacturing area; therefore, the impact of transport is considered null;
- A8 Remanufacturing; the work to adapt the walls to their new use was carried out on site; since the actual data from the construction site (completed before this study) is not available, this value came to zero to determine the impacts of this phase;
- A9 Transport; as for A6, transport after rework will also count as null, as walls stored on site;
- A10 Construction, i.e. the process of installing remanufactured components for their new use; this phase can be assimilated to phase A5, which, however, was not declared in the LCA taken as reference.

Following the first scenario, multiplication by the total number of square metres of reused walls applies to the results.

Comparison of the two scenarios | As hypothesised by the study, for all the considered categories the second scenario, focused on reuse, has a significantly lower impact than the first case (Tab. 7). Since the impacts of wall construction are significantly higher than in the end-of-life phase, initial results suggest that the most significant environmental impacts in the first scenario derive mainly from the raw material extraction and production phase (Fig. 4). The total impact of the global warming potential of the 1st scenario is 12.16 t CO₂eq against the 2.86 t CO₂eq attributable to the 2nd circular scenario. The savings due to the adoption of the circular economy strategy of reusing components can be determined by calculating the difference in the global warming potential between the first and second scenarios: this results in a saving of 9.3 t CO₂eq in terms of total global warming potential, equal to approximately 76%.

ADP impacts also highlight significant savings. For ADP-Fossil, in the first scenario where new walls come into place, the total value is very high at 162,357 MJ, mainly driven by the extraction and production of the glass of the partitions, which has a substantial impact. In the case of the reuse of the walls, where production is not considered, the ADP-

Fossil impact is consequently lower, in particular, equal to 18,508 MJ, with a saving of approximately 88%. Similarly, the value of the abiotic depletion potential of the ADPE element is significantly lower in the case of reuse, with a saving of over 95%.

Lastly, to calculate the WDP, several factors were taken into account, such as the quantity of water used during the production, installation, use and disposal of the construction element, including both the water directly used for production and construction activities and the water incorporated into the materials or processes: the results show that in the first case, in which the new wall goes, the value is 3,946 mc, while it is 145 mc in the circular scenario.

Conclusions | The current framework of international policies, particularly of the European Community, promotes the widespread diffusion of circularity principles, including those of the construction sector. The available tools to support these policies currently appear to be mainly focused on measuring circularity rather than on evaluating the effects that such circularity can entail in terms of lower environmental impact. Concerning this consideration, the article proposes and tests a simplified method for quantifying the environmental benefits achievable by adopting reuse practices of building components in indoor re-layout projects.

Acknowledgements

Thanks to Citterio SpA (23844 Sirone LC Italia), the manufacturer of the walls employed in the reuse case study, for the support and shared data.

References

- Allacker, K., Mathieux, F., Pennington, D. and Pant, R. (2017), “The search for an appropriate end-of-life formula for the purpose of the European Commission Environmental Footprint initiative”, in *The International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 22, pp. 1441-1458. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s11367-016-1244-0 [Accessed 4 March 2024].
- Atta, N. (2023a), *Green Approaches in Building Design and Management Practices – Windows of Opportunity Towards Circularity*, Springer Nature, Switzerland. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-031-46760-8 [Accessed 4 March 2024].
- Atta, N. (2023b), “Remanufacturing towards circularity in the construction sector – The role of digital technologies”, in Arbizzani, E., Cangelli, E., Clemente, C., Cumo, F., Giofrè, F., Giovenale, A. M., Palme, M. and Paris, S. (eds), *Technological Imagination in the Green and Digital Transition – Proceedings of the International Conference on Technological Imagination in the Green and Digital Transition, CONFITECH, Rome, Italy, 30 June-2 July 2022*, Springer, Cham, pp. 493-503. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-031-29515-7_45 [Accessed 4 March 2024].
- BRE Global (2013), *BRE Environmental Profiles 2013 – Product Category Rules for Type III environmental product declaration of construction products to EN 15804:2012*, IHS BRE Press, Bracknell. [Online] Available at: files.bre-

The experimentation results highlight that the environmental benefits achieved in the case study through the application of reuse practices are significant in percentage terms compared to the traditional ‘linear’ approach. By improving the awareness of the outcomes of circular practices, the proposed tool can be helpful to support – with a cost-benefit approach – decisions on the adoption of possible reuse strategies in the pre-feasibility and preliminary design phases, commonly characterised by a lack of data compared to the level of information detail required by complex calculation tools. Furthermore, the tool can allow us to measure sustainability performance in a reliable and repeatable way during the post-reuse evaluation phase, with a view to sustainability disclosure.

Although simplified, the method presented provides reliable data based on information from product-specific surveys (EPD) and established and widely used analytical processes (LCA). The tool’s applicability is, therefore, dependent on the availability of the data. Therefore, the unavailability of the data contained in EPDs and LCAs may represent a limit to the application of the method.

However, based on the evidence of the application phase, information on the environmental impacts of building elements seems to be increasingly guaranteed by a reference framework that pushes the sector operators to develop ‘support’ doc-

group.com/bre-co-uk-file-library-copy/filelibrary/Materials/BRE_Response_to_PCR_Public_Consultation_Comments.KN5318.pdf [Accessed 4 March 2024].

Bruno, E. and Carota, F. (2021), “Rigenerazione contro demolizione – Strategie, comportamenti e attivazione locale nel sito di Yongqing Fang | Regeneration versus demolition – Strategies, actions and local practices on Yongqing Fang Site”, in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 9, pp. 146-157. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/9142021 [Accessed 4 March 2024].

Butzer, S. and Schötz, S. (2016), *D3.3 – D3.4 Map of remanufacturing processes landscape*, European Remanufacturing Network (ERN). [Online] Available at: remanufacturing.eu/assets/pdfs/ERN_DeliverableReport_WP3_Processes_final_for_upload-I.pdf [Accessed 4 March 2024].

Camilleri, M. A. (2020), “European environment policy for the circular economy – Implications for business and industry stakeholders”, in *Sustainable Development*, vol. 28, issue 6, pp. 1804-1812. [Online] Available at: doi.org/10.1002/sd.2113 [Accessed 4 March 2024].

Davino, G. and Bassolino, E. (2019), “Strategie di progettazione adattiva per il retrofit di edifici in risposta ai cambiamenti climatici | Adaptive design strategies for buildings’ retrofit in response to climate change”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 6, pp. 192-199. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/6182019 [Accessed 4 March 2024].

De Joanna, P., Bronzino, E. and Lusi, V. (2022), “Resilienza e circolarità nel progetto edilizio sostenibile – Strumenti di valutazione integrata preliminare | Resilience and circularity in sustainable building design – Integrated tools for pre-intervention assessment”, in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 12, pp. 122-135. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/

12112022 [Accessed 4 March 2024].

De Pascale, A., Arbolino, R., Szopik-Depczyńska, K., Limosani, M. and Ioppolo, G. (2021), “A systematic review for measuring circular economy – The 61 indicators”, in *Journal of Cleaner Production*, vol. 281, article 124942, pp. 1-37. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124942 [Accessed 4 March 2024].

De Wolf, C., Hoxha, E. and Fivet, C. (2020), “Comparison of environmental assessment methods when reusing building components – A case study”, in *Sustainable Cities and Society*, vol. 61, article 102322, pp. 1-11. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.scs.2020.102322 [Accessed 4 March 2024].

Dodd, N., Donatello, S. and Cordella, M. (2021), *Level(s) – A common EU framework of core sustainability indicators for office and residential buildings – User Manual 1 – Introduction to the Level(s) common framework (Publication version 1.1)*. [Online] Available at: susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2021-01/UM1_Introduction_to_Level%28s%29_v1.1_27pp.pdf [Accessed 4 March 2024].

Ekvall, T. and Tillman, A. M. (1997), “Open-loop recycling – Criteria for allocation procedures”, in *The International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 2, pp. 155-162. [Online] Available at: doi.org/10.1007/BF02978810 [Accessed 4 March 2024].

EPRS – European Parliamentary Research Service (2024), *Fit for 55 package*. [Online] Available at: europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2022/733513/EPRS_BRI(2022)733513_EN.pdf [Accessed 4 March 2024].

European Commission (2021a), *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – ‘Fit for 55’ – Delivering the EU’s 2030*

Climate Target on the way to climate neutrality, document 52021DC0550, 550 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021DC0550 [Accessed 4 March 2024].

European Commission (2021b), *Commission Regulation (EU) 2021/341 of 23 February 2021 amending Regulations (EU) 2019/424, (EU) 2019/1781, (EU) 2019/2019, (EU) 2019/2020, (EU) 2019/2021, (EU) 2019/2022, (EU) 2019/2023 and (EU) 2019/2024 with regard to ecodesign requirements for servers and data storage products, electric motors and variable speed drives, refrigerating appliances, light sources and separate control gears, electronic displays, household dishwashers, household washing machines and household washer-dryers and refrigerating appliances with a direct sales function*, document 32021R0341, C/2021/923. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/eli/reg/2021/341/oj [Accessed 4 March 2024].

European Commission (2020), *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – A new Circular Economy Action Plan for a cleaner and more competitive Europe*, document 52020DC0098, 98 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A52020DC0098 [Accessed 4 March 2024].

European Commission (2019), *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – The European Green Deal*, document 52019DC0640, 640 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52019DC0640 [Accessed 4 March 2024].

European Commission (2015), *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – Closing the Loop – An EU Action Plan for the Circular Economy*, document 52015DC0614, 614 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52015DC0614 [Accessed 4 March 2024].

European Commission (2008), *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – Public procurement for a better environment*, document 52008DC0400, 400 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A52008DC0400 [Accessed 4 March 2024].

European Parliament and Council of the European Union (2022), *Directive (EU) 2022/2464 of the European Parliament and of the Council of 14 December 2022 amending Regulation (EU) No 537/2014, Directive 2004/109/EC, Directive 2006/43/EC and Directive 2013/34/EU, as regards corporate sustainability reporting*, document 32022L2464, PE/35/2022/REV/1. [Online] Available at: data.europa.eu/eli/dir/2022/2464/oj [Accessed 4 March 2024].

European Parliament and Council of the European Union (2011), *Regulation (EU) No 305/2011 of the European Parliament and of the Council of 9 March 2011 laying down harmonised conditions for the marketing of construction products and repealing Council Directive 89/106/EEC*, document 32011R0305. [Online] Available at: data.europa.eu/eli/reg/2011/305/oj [Accessed 4 March 2024].

Frischknecht, R. (2010), “LCI modelling approaches applied on recycling of materials in view of environmental sustainability, risk perception and eco-efficiency”, in *The International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 15, pp. 666-671. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s11367-010-0201-6 [Accessed 4 March 2024].

Gallego-Schmid, A., Chen, H.-M., Sharmina, M. and Mendoza, J. M. F. (2020), “Links between circular economy and climate change mitigation in the built environment”, in *Journal of Cleaner Production*, vol. 260, article 121115, pp. 1-14. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121115 [Accessed 4 March 2024].

González, A., Sendra, C., Herena, A., Rosquillas, M. and Vaz, D. (2021), “Methodology to assess the circularity in

building construction and refurbishment activities”, in *Resources, Conservation & Recycling Advances*, vol. 12, article 200051, pp. 1-19. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.rcradv.2021.200051 [Accessed 4 March 2024].

ISO 14044:2006, *Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines*. [Online] Available at: iso.org/standard/38498.html [Accessed 4 March 2024].

ISO 14040:2006, *Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework*. [Online] Available at: iso.org/standard/37456.html [Accessed 4 March 2024].

Kanters, J. (2020), “Circular building design – An analysis of barriers and drivers for a circular building sector”, in *Buildings*, vol. 10, issue 4, article 77, pp. 1-16. [Online] Available at: doi.org/10.3390/buildings10040077 [Accessed 4 March 2024].

Khadim, N., Agliata, R., Marino, A., Thaheem, M. J. and Mollo, L. (2022), “Critical review of nano and micro-level building circularity indicators and frameworks”, in *Journal of Cleaner Production*, vol. 357, article 131859, pp. 1-14. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131859 [Accessed 4 March 2024].

Munaro, M. R. and Tavares, S. F. (2023), “A review on barriers, drivers, and stakeholders towards the circular economy – The construction sector perspective”, in *Cleaner and Responsible Consumption*, vol. 8, article 100107, pp. 1-14. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.clrc.2023.100107 [Accessed 4 March 2024].

Norouzi, M., Châfer, M., Cabeza, L. F., Jiménez, L. and Boer, D. (2021), “Circular economy in the building and construction sector – A scientific evolution analysis”, in *Journal of Building Engineering*, vol. 44, article 102704, pp. 1-18. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102704 [Accessed 4 March 2024].

Oluleye, B. I., Chan, D. W. M., Saka, A. B. and Olawumi, T. O. (2022), “Circular economy research on building construction and demolition waste – A review of current trends and future research directions”, in *Journal of Cleaner Production*, vol. 357, article 131927, pp. 1-18. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131927 [Accessed 4 March 2024].

Osobajo, O. A., Oke, A., Omotayo, T. and Obi, L. I. (2022), “A systematic review of circular economy research in the construction industry”, in *Smart and Sustainable Built Environment*, vol. 11, issue 1, pp. 39-64. [Online] Available at: doi.org/10.1108/SASBE-04-2020-0034 [Accessed 4 March 2024].

Paiho, S., Mäki, E., Wessberg, N., Paavola, M., Tuominen, P., Antikainen, M., Heikkilä, J., Rozado, C. A. and Jung, N. (2020), “Towards circular cities – Conceptualizing core aspects”, in *Sustainable Cities and Society*, vol. 59, article 102143, pp. 1-19. [Online] Available at: sciencedirect.com/science/article/pii/S221067072030130X [Accessed 4 March 2024].

Parker, D., Riley, K., Robinson, S., Symington, H., Tewson, J., Jansson, K. and Peck, D. (2015), *Remanufacturing market study*, European Remanufacturing Network (ERN). [Online] Available at: remanufacturing.eu/assets/pdfs/remanufacturing-market-study.pdf [Accessed 4 March 2024].

PAS 2050:2008, *Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services*, The British Standard Institute. [Online] Available at: carbonconstruct.com/pdf/pas_2050.pdf [Accessed 4 March 2024].

Rahla, K. M., Mateus, R. and Bragança, L. (2021), “Implementing circular economy strategies in building – From theory to practice”, in *Applied System Innovation*, vol. 4, issue 2, article 26, pp. 1-14. [Online] Available at: mdpi.com/2571-5577/4/2/26 [Accessed 4 March 2024].

Rigillo, M., Galluccio, G. and Paragliola, F. (2023), “Digitale e circolarità in edilizia – Le KETs per la gestione degli scarti in UE | Digital and circularity in building – KETs for waste management in the European Union”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 13, pp. 247-258. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/13212023 [Accessed 4 March 2024].

Sposito, C. and De Giovanni G. (2023), “Affrontare la complessità – Integrare LCA, ERA ed ESA per valutare impatti e benefici antropici sulla biosfera | Dealing with complexity – Integrating LCA, ERA and ESA to assess human impacts and benefits on the biosphere”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 14, pp. 12-39. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1412023 [Accessed 4 March 2024].

UNI EN 15804:2021, *Sostenibilità delle costruzioni – Dichiarazioni ambientali di prodotto – Regole quadro di sviluppo per categoria di prodotto*. [Online] Available at: store.uni.com/uni-en-15804-2021 [Accessed 4 March 2024].

Zaffagnini, T. and Morganti, L. (2022), “Data-driven LCA per l’innovazione industriale green delle facciate continue customizzate | Data-driven LCA for green industrial innovation of custom curtain walls”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 12, pp. 94-105. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1292022 [Accessed 4 March 2024].

Zhang, N., Han, Q. and de Vries, B. (2021), “Building circularity assessment in the architecture, engineering, and construction industry – A new framework”, in *Sustainability*, vol. 13, issue 22, article 12466, pp. 1-21. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su132212466 [Accessed 4 March 2024].

ARTICLE INFO

Received	06 April 2024
Revised	10 April 2024
Accepted	18 April 2024
Published	30 June 2024

VERSO LA NEUTRALITÀ CLIMATICA

Il ruolo chiave del Digital Twin nell'Industria 5.0

TOWARDS CLIMATE NEUTRALITY

The key role of the Digital Twin in Industry 5.0

Anna Osello, Matteo Del Giudice, Angelo Juliano Donato,
Andrea Fratto

ABSTRACT

La neutralità climatica è una sfida planetaria che richiede una rivoluzione nei modelli produttivi e nell'uso dell'energia. Il settore industriale, tra i principali responsabili delle emissioni inquinanti, necessita innovazione tecnologica per invertire questa tendenza, promuovendo soluzioni per migliorare la produzione, ridurre i consumi energetici e abbattere i costi di gestione. La transizione digitale verso l'Industria 5.0 esplora la complessità della transizione energetica e lo sviluppo di un gemello digitale, consentendo di affrontare le sfide dei cambiamenti climatici. La ricerca descrive un processo innovativo basato sulle Information Technologies e metodologie BIMtoBEM per sviluppare un gemello digitale della fabbrica con l'obiettivo di implementare sistemi di visualizzazione, cruscotti digitali e tecnologie di realtà estesa, con l'intento di porre l'essere umano al centro del flusso metodologico proposto.

Climate neutrality is a global challenge that requires a revolution in production models and energy use. The industrial sector, one of the leading emitters of pollutants, needs technological innovation to reverse this trend, promoting solutions to improve production, reduce energy consumption and cut operating costs. The Digital Transition to Industry 5.0 explores the complexity of the energy transition and the development of a digital twin to address the challenges of climate change. The research describes an innovative process based on Information Technologies and BIMtoBEM methodologies to develop a digital twin of the factory to implement visualisation systems, such as digital dashboards and extended reality technologies, placing human beings at the centre of the proposed methodological flow.

KEYWORDS

gemello digitale, transizione energetica, innovabilità, industria 5.0, BIM

digital twin, energy transition, innovability, industry 5.0, BIM

Anna Osello, Full Professor of Drawing at Politecnico of Turin (Italy), focuses her research on BIM and DIM for smart city development. Since 2015, she has coordinated the drawingTOthefuture Laboratory and the VR@polito Laboratory and has carried out theoretical and applied research on the topics of BIM and interoperability of data management software for the digital built environment. E-mail: anna.osello@polito.it

Matteo Del Giudice is a Researcher at the Department of Structural, Geotechnical and Building Engineering at Politecnico of Turin (Italy). Since 2009, he has been studying and applying the BIM methodology, investigating interoperability issues in real case studies in national and international contexts. E-mail: matteo.delgiudice@polito.it

Angelo Juliano Donato is a Research Fellow at the drawingTOthefuture Laboratory at Politecnico of Turin (Italy), where research and training are constantly integrated and developed on the topics of BIM, Virtual and Augmented Reality. E-mail: angelo.donato@polito.it

Andrea Fratto is a Research Fellow at the drawingTOthefuture Laboratory at Politecnico of Turin (Italy), where he researches electrical systems and explores BIMtoBEM interaction issues. E-mail: andrea.fratto@polito.it



Temperature più elevate, fenomeni atmosferici più violenti e aumento della siccità, del riscaldamento e dell'innalzamento degli oceani sono alcuni degli effetti causati dai cambiamenti climatici a cui l'umanità sta assistendo, contestualmente all'incremento della domanda globale di energia e della dipendenza dalle importazioni energetiche. Su questo tema il Green Deal Europeo (European Commission, 2019) è determinato a rendere la transizione energetica inclusiva, trasformando le sfide climatiche e ambientali in opportunità, azzerando le emissioni di CO₂ entro il 2050 con l'adozione di limiti come la neutralità climatica e la ricerca della neutralità del carbonio (Terenzi, 2022). Per tale finalità le Information and Communication Technologies (ICTs) sono considerate strumenti vitali, in quanto ritenute in grado di proporre modelli economici innovativi e opportunità di creazione di valore all'interno del nuovo ecosistema globale: la fondazione World Economic Forum (WEF, 2022) ha previsto una potenziale riduzione del 15% delle emissioni globali di carbonio alle ICTs, evidenziando il ruolo significativo che la digitalizzazione potrebbe svolgere nell'affrontare le sfide associate alla neutralità climatica (Ghenai et alii, 2022).

Con l'avvento delle tecnologie digitali si assiste a un cambio di paradigma orientato a nuovi metodi e strumenti per innovare il processo decisionale e grazie a innovative tecnologie di visualizzazione (Ma et alii, 2024) è possibile ottimizzare le prestazioni energetiche degli edifici (Massari et alii, 2022). Il concetto di 'innovability', sincretismo di innovazione e sostenibilità, si sposa con quanto detto finora: i due ambiti devono essere messi a sistema per definire un nuovo paradigma di sviluppo che esprima la necessità di promuovere e innovare le risorse del Pianeta, sfruttando gli strumenti messi a disposizione dall'era digitale (Zaffagnini and Palmirani, 2022).

L'influenza della transizione digitale / ecologica può essere guidata dalla consapevolezza dell'essere umano, orientando il modello di Industria 4.0 (Fig. 1) verso la visione umano-centrica propria dell'Industria 5.0 (Lv, 2023); l'enfasi posta sulla digitalizzazione e sulle tecnologie innovative per migliorare l'efficienza e la flessibilità della produzione può quindi essere finalizzata al raggiungimento dei principi di giustizia sociale e sostenibilità. L'innovazione tecnologica, guidata dalla visione umano-centrica, permette all'industria di fornire servizi all'umanità a lungo termine (Huang et alii, 2022), in un contesto nel quale il settore industriale emerge come uno dei principali responsabili delle emissioni di gas serra e inquinanti nell'atmosfera; per tale motivo diventa necessario esaminarlo attentamente dal punto di vista energetico e secondo Facciolongo (2018) la neutralità climatica può essere raggiunta innovando i modelli di produzione e consumo energetico, piuttosto che solo limitando i consumi.

Il concetto di 'fabbrica intelligente' si basa sul nuovo ecosistema fabbrica-uomo che propone informazioni legate alla gestione del fabbricato e dei processi produttivi e al comfort, ottimizzando le risorse utilizzate per ridurre la produzione di rifiuti e le emissioni climalteranti (Romano et alii, 2022). La 'gestione dell'obsolescenza dell'opera architettonica' e del suo 'ciclo di vita' rappresentano necessità ineludibili di una significativa 'estensione', concettuale e operativa, dello stesso pro-

getto di architettura verso una dimensione di responsabilità umana per la gestione dell'ambiente antropizzato, sfruttando i servizi digitali (Giallocosta, 2019; Lauria and Azzalin, 2021). Big data, Gemelli Digitali (GD) e algoritmi di Intelligenza Artificiale (IA) possono essere finalizzati al raggiungimento dei requisiti informativi utili agli utenti finali (Ryalat, ElMoaqet and AlFaouri, 2023).

In particolare l'adozione di piattaforme basate su Gemelli Digitali Energetici (GDE; Yu et alii, 2022) definisce una nuova idea di fabbrica in cui i dati vengono esposti mediante interfacce grafiche sfruttando l'interoperabilità. La sua applicazione, integrata all'utilizzo di sensori intelligenti, può portare a un sistema di gestione e manutenzione dell'edificio e di tutte le sue componenti tecniche e tecnologiche verso approcci predittivi e programmati (Dejaco et alii, 2022). In questo ambito le procedure di interoperabilità per trasferire il dato da una piattaforma di modellazione proprietaria (BIM authoring) a quelle di analisi specifica (Building Energy Models – BEMs) offrono numerosi spunti di riflessione sul tema della condivisione e dell'affidabilità dei dati (Maiezza, 2019). Confrontare dati provenienti da sensori che misurano il mondo fisico con quelli derivati da una simulazione appartenenti al mondo digitale pone una serie di quesiti legati al concetto di livello di dettaglio e di affidabilità dei componenti digitali (Jung et alii, 2023).

L'obiettivo della ricerca è considerare la procedura BIMtoBEM come un'attività semi-automatica in grado di generare scenari diversi finalizzati a un'attività decisionale centrata sull'uomo attraverso un'interfaccia grafica. L'innovazione metodologica consiste nel ridurre il numero di passaggi scientificamente già consolidati; sfruttando infatti i vari formati di esportazione e le nuove implementazioni dei software si rende possibile ottimizzare gli scenari produttivi con un minor utilizzo di risorse. Infine il contributo indaga l'affidabilità delle simulazioni proposte, implementando sistemi di visualizzazione come cruscotti digitali e sistemi di Realtà Estesa (Extended Reality – XR) con l'uomo al centro del flusso metodologico proposto.

Stato dell'arte | Le metodologie consolidate per l'analisi energetica si basano su un percorso ben delineato, composto ma con numerosi punti critici che aumentano notevolmente i tempi di calcolo e richiedono risorse altamente qualificate. La metodologia che si intende esplorare inizia con l'analisi delle criticità di un percorso classico. Come illustrato nella Figura 2 i passaggi per ottenere una simulazione energetica si basano sulla creazione di un modello su un programma di BIM authoring e proseguono con l'esportazione in formato .gbxml o .ifc sui differenti software di simulazione per valutarne le prestazioni energetiche. Poiché la sintesi dei risultati e delle simulazioni sono stampati in tabelle, file di testo o in formato .html, è conveniente implementare dei sistemi di visualizzazione in grado di facilitare l'interpretazione dei dati da parte degli utenti. Lo stato dell'arte e i casi studio presenti in letteratura evidenziano come la metodologia BIMtoBEM può essere applicata tanto nel settore industriale quanto in quello edilizio e in particolare nel settore residenziale (Bastos Porsani et alii, 2021) o dell'edilizia pubblica (Jung et alii, 2023).

Dal confronto effettuato sui diversi studi in letteratura emerge che, al fine di ottenere la calibra-

zione del modello, è necessario effettuare un arricchimento delle informazioni energetiche e dirimere le principali criticità che risiedono nell'esportazione delle geometrie e delle informazioni. In quest'ottica il contributo ha la finalità di descrivere una metodologia innovativa basata su nuovi sistemi di visualizzazione in grado di risolvere le criticità emerse nell'uso di una metodologia ampiamente consolidata. In particolare la metodologia consente una riduzione nei tempi di arricchimento del modello BEM e la possibilità di interagire con il modello attraverso una facile interpretazione dei risultati, svincolandosi dai problemi legati all'esportazione e all'uso dei software energetici. L'innovazione si basa nell'impiego diretto del motore di calcolo presente nelle ultime versioni dei software di BIM authoring che consente simulazioni energetiche in differenti scenari e configurazioni. I sistemi di cruscotti digitali o l'utilizzo dei sistemi di XR garantiscono una facile interpretazione dei report in formato .html dei risultati delle simulazioni da parte dei differenti utenti (Fig. 3).

L'innovazione del metodo proposto si basa sulla capacità di valutare e agire sul modello attraverso l'interpretazione dei risultati: la differenza sostanziale rispetto a una metodologia tradizionale consiste nella notevole riduzione sui tempi di simulazione e sulle risorse a disposizione (Fig. 4). L'aspetto critico della metodologia analizzata risiede nell'affidabilità dei risultati delle simulazioni causati dal mancato utilizzo di un software specifico di simulazione energetica. Tuttavia, trovata la configurazione del modello più efficiente, è possibile esportarlo ed effettuare delle simulazioni dettagliate: esportare direttamente la migliore soluzione energetica del modello contribuisce alla riduzione dei tempi rispetto al processo tradizionale e a un notevole aumento dell'affidabilità dei risultati.

Metodologia e fasi della ricerca | L'inizio della transizione verso l'Industria 5.0 richiede la creazione di una rappresentazione digitale dettagliata dell'edificio, processo fondamentale che si avvia con la raccolta esaustiva dei dati (Maiezza, 2019). Questa fase iniziale si presenta come un processo complesso e laborioso, portando con sé considerevoli sfide e costi in termini di tempo (Sriyolja, Harwin and Yahya, 2021). La ricerca e lo sviluppo della metodologia riportata nel presente articolo è finanziata dal Piano Nazionale Ripresa Resilienza attraverso il progetto di ricerca MANufacturing Automotive Green Evolution 5.0 (Manage5.0), basato sullo sviluppo efficace del GD di uno stabilimento industriale (Fig. 5), che rappresenta uno strumento cruciale per l'avanzamento verso l'Industria 5.0. L'applicazione della metodologia al caso studio ha evidenziato come la centralità dell'uomo sia essenziale per la sostenibilità e il raggiungimento della neutralità climatica.

Lo schema di gestione (Fig. 6) descrive la centralità dell'azione umana nell'osservare, pianificare e agire mitigando e adattando i propri comportamenti, definendo una strategia basata sull'interazione tra mondo fisico e digitale grazie alla User eXperience (UX), sfruttando un GD. L'utilizzo di dispositivi improntati sull'UX permettono la visualizzazione, il monitoraggio e l'interazione con i diversi scenari digitali (Fig. 7); i concetti di XR influenzano i costi, i tempi e l'impiego di risorse nelle fasi di gestione dei sistemi installati (Namjoshi and Rawat, 2022).

I concetti chiave dell'Industria 5.0 si basano

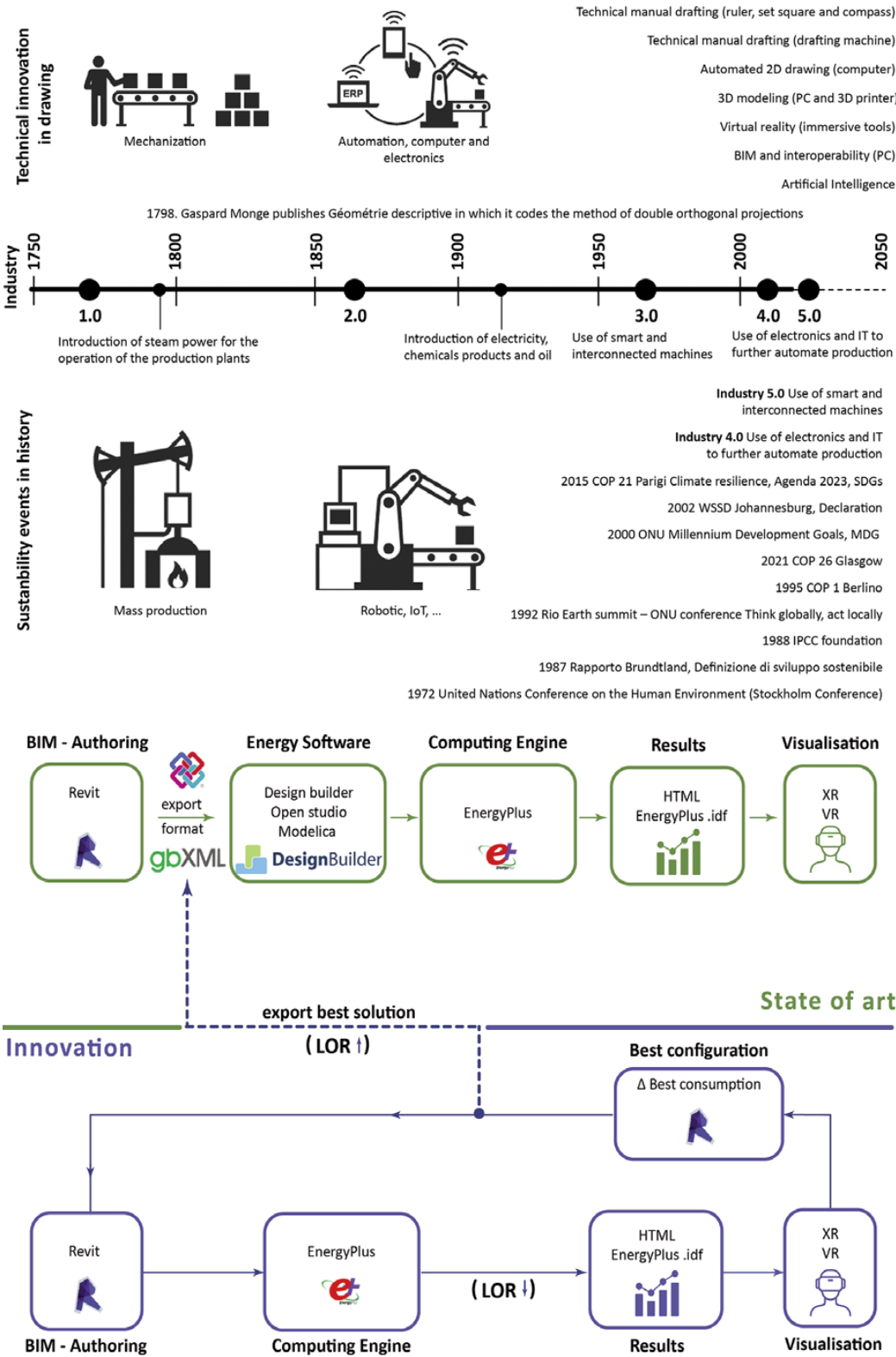


Fig. 1, 2 | Innovation, sustainability and industry over time; State of the art (credits: the Authors, 2024).

sull'interazione uomo-macchina, sulla capacità di interoperare con le tecnologie a disposizione ed utilizzarle al fine di adattare la produzione all'esigenze umane: per tale motivo sorge la necessità di realizzare un modello digitale basato sul concetto dell'Human-centred Interaction (HCI): collocando l'essere umano come punto focale del modello (Fig. 8) saranno la sua percezione, la sua esperienza e le sue sensazioni a creare il punto di collegamento fra il mondo fisico e quello digitale. Inoltre l'uomo, oltre che usufruire dei molteplici benefici della realizzazione di un GD come la possibilità

di monitorare, visualizzare e gestire i differenti scenari, avrà la possibilità di agire e interagire direttamente con esso, creando così un continuum temporale fra uomo e macchina (Tao et alii, 2022); in questo modo interfacce grafiche potranno innescare azioni di mitigazione e adattamento per la resilienza e la sostenibilità. La creazione del GD si basa sulla possibilità di ricevere dati statici e dinamici in input e manipolarli al fine di realizzare delle interfacce grafiche per la gestione dell'intero stabilimento (De Luca et alii, 2021).

Per consolidare la metodologia descritta e ot-

tenere gli obiettivi di sostenibilità, neutralità climatica e raggiungere i principi dell'Industria 5.0 la ricerca è suddivisa nelle fasi di raccolta dati, flusso informativo BIMtoBEM, simulazione BEM e visualizzazione dei risultati.

Raccolta Dati | La prima fase è basata sulla raccolta e scambio di dati; le informazioni principali per la realizzazione del modello sono state reperite tramite l'interazione tra l'esperto in gestione digitale delle costruzioni e il cliente, partendo dai rilievi effettuati con approcci tradizionali e dalla possibilità di avvalersi di tecnologie innovative di acquisizione.

I principali dati di input arrivano dalla documentazione storica, dai dati di fabbrica architettonici e dei differenti sistemi IoT installati all'interno dello stabilimento. L'utilizzo di applicazioni, dashboard e sistemi di XR permettono di interagire con la replica virtuale del modello. L'interpretazione della visualizzazione del modello digitale assume significati differenti a seconda dei diversi profili d'utente: le squadre di manutenzione, ad esempio, avranno la possibilità di monitorare i componenti all'interno dello stabilimento e valutare l'approccio migliore per la manutenzione riducendo i tempi di intervento e i rischi sul lavoro; un modello così generato fornisce un valore aggiunto al fabbricato industriale.

La necessità di mantenere il passo con le mutevoli esigenze normative e innovazioni tecnologiche richiede un costante impegno nella ricerca e nell'adozione di soluzioni avanzate per la raccolta, la gestione e l'analisi dei dati. Spesso si riscontra una notevole confusione nella ricerca dei dati di ingresso a causa di innumerevoli cambiamenti del layout produttivo che comportano un basso livello di affidabilità (Massafra, Predari and Gulli, 2022). Solo un approccio diligente e innovativo nella raccolta dei dati garantisce il successo e la longevità del GD nell'ambito dell'Industria 5.0 (Boje et alii, 2023).

Flusso informativo BIMtoBEM | A seguire la fase di analisi dettagliata delle criticità dei dati raccolti, la seconda fase interessa il flusso informativo successivo alla costruzione del modello BIM e del modello BEM. La piattaforma GD proposta è fondata su domini di dati eterogenei statici e dinamici: a) dominio BIM, per la definizione di un'anagrafica tecnica affidabile; dominio BEM, per le valutazioni energetiche; flusso BIMtoBEM. Il contributo si focalizza sul processo BIMtoBEM, soffermandosi sugli aspetti principali legati all'efficiamento energetico e alla visualizzazione. Il dominio di dati BIM è costituito dalla federazione di modelli concettuali, architettonici e impiantistici, elettrico e meccanico (Fig. 9). L'utilizzo del modello BIM federato, prodotto con la piattaforma Autodesk Revit, garantisce lo scambio dati tra diversi professionisti coinvolti e permette la visualizzazione delle interazioni tra i diversi sistemi installati (Russo Ermolli and Galluccio, 2019). I dati provenienti dal dominio BIM sono arricchiti con le proprietà termofisiche dell'involucro e le relative zone termiche, le caratteristiche dei sistemi di ventilazione e condizionamento culminano con lo sviluppo di modelli BEMs (Fig. 10) per la digitalizzazione del plant.

Il flusso BIMtoBEM (Fig. 11) inizia con l'acquisizione dei requisiti informativi per la sviluppo del modello BIM e la successiva trasformazione in un

modello BEM attraverso uno scambio di informazioni garantito dall'interoperabilità tra modelli, software e banca dati (Del Giudice et alii, 2021). La realizzazione di un modello BEM, utile per la realizzazione delle simulazioni energetiche, elettriche e dei processi necessita di un filtraggio dei dati in ingresso tramite il Data Sharing. Durante questo processo si ha la valutazione di tutti i dati condivisi dai differenti modelli con la selezione di quelli utili per la realizzazione del modello BEM e per le diverse simulazioni. Il confronto tra le informazioni ricevute dai modelli BIM permette di identificare incongruenze nella realizzazione dei modelli: è così possibile effettuare una calibrazione aumentando l'affidabilità dei modelli e delle simulazioni (Saad and Eicker, 2023).

Per validare l'affidabilità della metodologia proposta, sono stati effettuati test di interoperabilità con i differenti software di simulazione energetica (Bastos Porsani et alii, 2021) attraverso l'esportazione del modello in formato Green Building XML (.gbxml). I test eseguiti hanno confermato le criticità e l'elevato tempo necessario per esportare correttamente tutte le geometrie presenti nel modello (Fig. 12).

Simulazioni BEM | La simulazione BEM, successiva all'esportazione e all'arricchimento del modello con i parametri energetici, è stata processata attraverso l'utilizzo di EnergyPlus, uno dei motori di calcolo energetico più prestazionali e utilizzati nel settore (Di Biccari et alii, 2022). I differenti parametri impostati sul modello energetico sono il livello di infiltrazione, occupazione, ventilazione e le configurazioni delle differenti zone termiche nello stabilimento. La calibrazione del modello, al fine di ottenere un sottile margine tra i consumi energetici reali e simulati e di aumentare l'affidabilità delle simulazioni, è stata basata sulla personalizzazione del file climatico in formato EnergyPlus Weather, ovvero .epw (Moradi et alii, 2023). L'arricchimento di informazioni permette di aumentare notevolmente il grado di affidabilità dei risultati delle simulazioni ma, allo stesso tempo, aumenta notevolmente i tempi di simulazione e la difficoltà di lettura dei dati. L'interpretazione e la comprensione dei risultati delle simulazioni varia in funzione del tipo di utente che si interfaccia con i sistemi di visualizzazione.

La costruzione di un GD permette inoltre di effettuare anche simulazioni sui differenti impianti presenti nello stabilimento. Le simulazioni elettriche, affrontate sul caso studio in esame, si soffermano sugli aspetti legati alla manutenzione e gestione delle diverse installazioni presenti nello stabilimento, sull'analisi illuminotecnica e sul monitoraggio dei flussi di potenza nell'edificio. Infine possono essere ricreati scenari inerenti alla gestione dei processi e dei prodotti all'interno dello stabilimento. Seguendo la procedura è possibile visualizzare agevolmente i dati e i differenti scenari, gestire la manutenzione del costruito e sviluppare scenari di efficientamento energetico e monitoraggio dei diversi vettori energetici. La decisione, l'aspetto critico e l'esperienza offerta dall'utente diventano parte integrante nell'aumento di affidabilità delle simulazioni (Chong, Gu and Jia, 2021),

il continuo aggiornamento dei modelli e lo sviluppo dei concetti human-centred legati all'Industria 5.0.

Risultati | Un ecosistema in cui l'uomo è il mediatore tra le interfacce di visualizzazione e il modello permette di realizzare un gemello digitale basato sull'utilizzo di attuatori e intelligenza artificiale in grado di collegare il mondo naturale all'edificio (Ratti and Belleri, 2020). Il presente studio propone una metodologia per condurre simulazioni energetiche dello stabilimento, con l'obiettivo di agevolare l'interpretazione dei risultati attraverso l'utilizzo di cruscotti digitali innovativi e ridurre i tempi di simulazione; ciò consente un adattamento dei processi decisionali relativi ai diversi layout produttivi al fine di ridurre i consumi energetici (Zheng et alii, 2023).



Un esempio di cruscotto digitale (Fig. 13) raffigura una possibile interfaccia grafica del layout produttivo; le differenti zone termiche, presenti all'interno del modello, sono tematizzate per rappresentare i consumi energetici generati dagli apporti termici gratuiti e dalle lavorazioni tenendo conto i ricambi orari dell'impianto HVAC. L'HCI, in questo caso, è basata sulla tipologia di utente che si interfaccia con la visualizzazione di questo dato. La sensibilizzazione dell'operatore, le soluzioni ingegneristiche che può fornire il facility manager o le scelte di investimento da parte della società controllante possono essere alcune delle interazioni tra la visualizzazione e il gemello digitale (Pan et alii, 2023).

Il secondo aspetto affrontato riguarda l'utilizzo dei sistemi di XR. Sono stati esaminati scenari di Realtà Aumentata che consentono di visualizzare

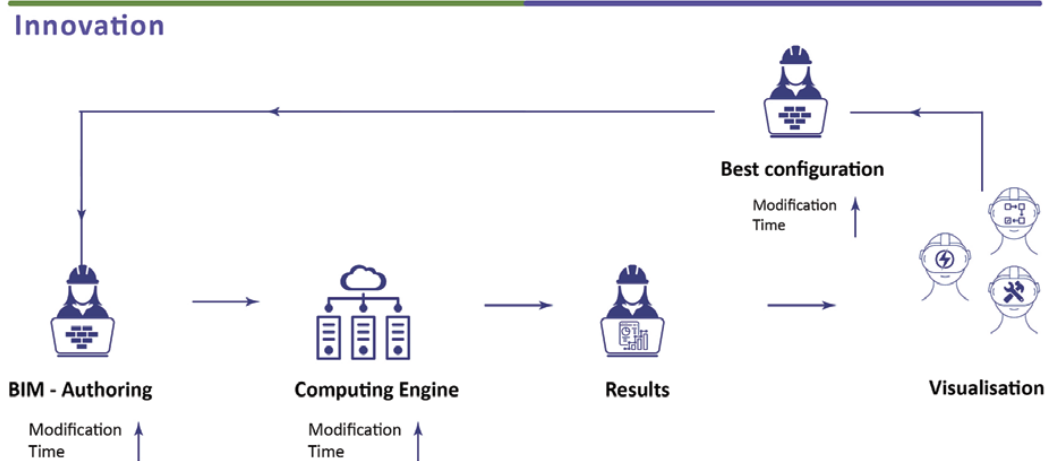
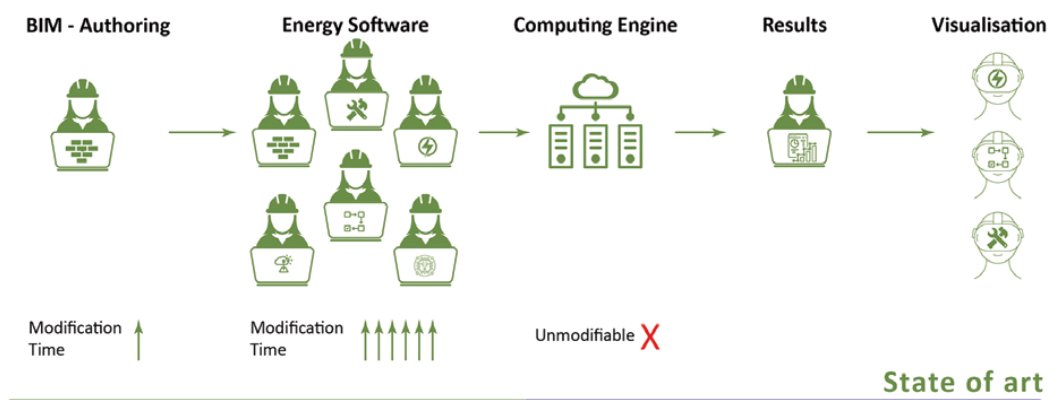
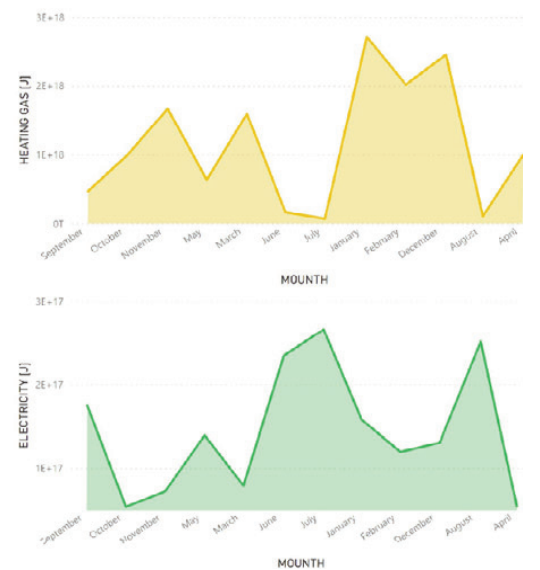


Fig. 3 | Displaying results (credit: the Authors, 2024).

Fig. 4 | Resources in the BEM (credit: the Authors, 2024).

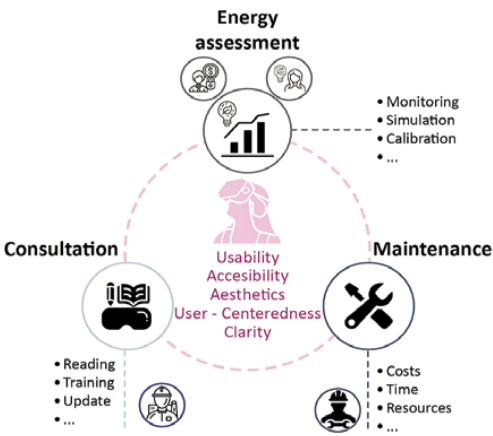
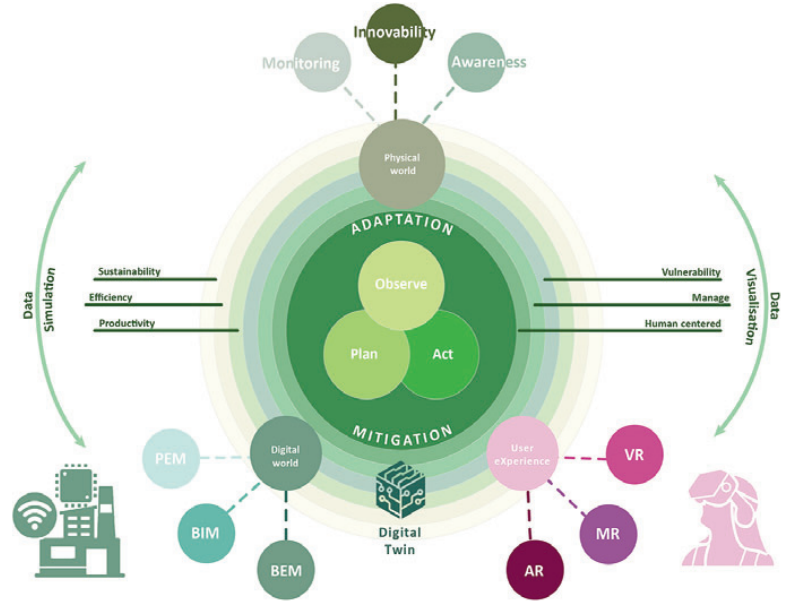
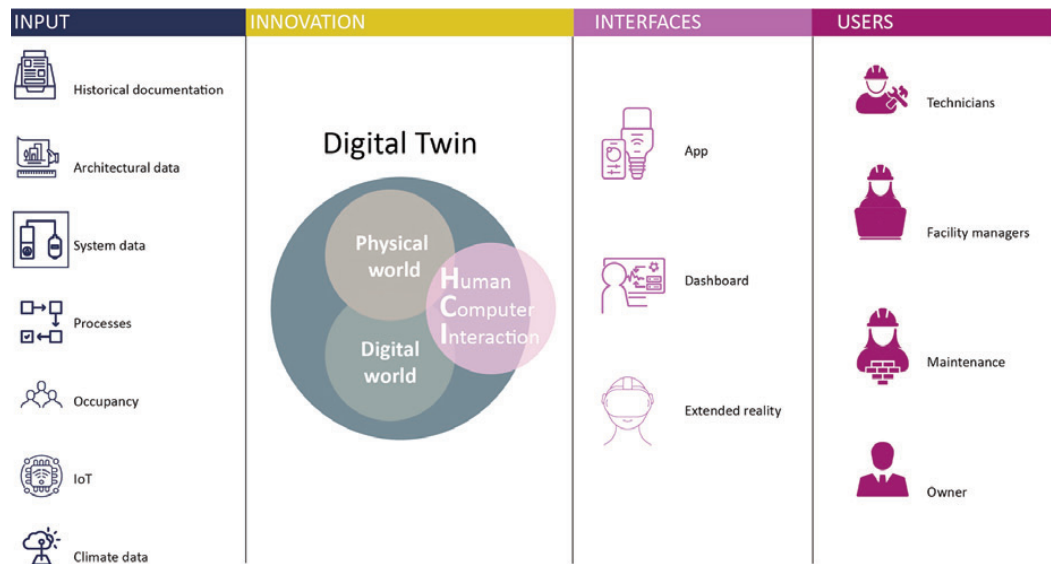


Fig. 5 | Case study (source: Google Earth, 2024).

Fig. 6-8 | Innovative industry management; User Experience in Industry; Methodological diagram (credit: the Authors, 2024).



i componenti modellati dello stabilimento sovrapponendo il mondo reale a quello digitale. A titolo esemplificativo la Figura 14 mostra una possibile interazione con i componenti della cabina elettrica, applicando automatismi alla gestione della manutenzione attraverso filtri tematici. L'esperienza dell'utente è incentrata sulla gestione dei componenti e sulla possibilità per il facility manager di spiegare in sicurezza gli interventi necessari agli operatori, fattore che può portare a una riduzione delle risorse, dei materiali e delle emissioni dovute a una gestione inefficiente della manutenzione. Allo stesso modo utilizzando la Realtà Virtuale (Cárdenas-Robledo et alii, 2022) è possibile creare scenari immersivi per visualizzare, interagire e comunicare gli interventi di manutenzione, monitorare i principali parametri dei dispositivi ed addestrare in sicurezza le squadre di manutenzione.

Conclusioni | L'era della trasformazione digitale impone un cambio di paradigma all'industria delle costruzioni, influenzata dai cambiamenti climatici che stressano gli ecosistemi naturali e antropici. L'ecosistema digitale descritto nel contributo assume un ruolo chiave nell'innovazione sostenibile e di economia circolare, supportando aziende, En-

ti e Istituzioni nel ridurre i costi operativi, ottimizzare l'uso delle risorse e diminuire l'impronta di carbonio (Terenzi, 2022). Il potenziale dei Gemelli Digitali e il raggiungimento degli obiettivi dell'Industria 5.0 risultano limitati dall'imaturità dei mercati e dalla difficoltà di raggiungere i differenti utenti. Gli sviluppi futuri si basano sulla possibilità di modificare i dati direttamente sul modello attraverso i sistemi di visualizzazione proposti nella metodologia, centralizzando ancora di più l'utente nel flusso.

Inoltre lo sviluppo di sistemi di IA può aiutare l'interazione e la visualizzazione da parte del progettista e degli utenti che si interfacciano con i sistemi di visualizzazione (Paciotti and Di Stefano, 2021) e l'utilizzo dell'Industry Foundation Classes (.ifc) per gli aspetti legati all'esportazione del modello, per le simulazioni e gli aspetti legati visualizzazione in XR. L'utilizzo di questo formato per lo scambio di dati è tra i più utilizzati nel mondo: sono infatti diverse le automazioni, basate sull'esportazione del modello in questo formato, per l'arricchimento dell'Energy Analysis Model (EAM) e per migliorare l'efficienza della simulazione BEM (Ramaji, Messner and Mostavi, 2020).

Una delle principali differenze riscontrate tra il

formato .gbxml e .ifc risiede nella possibilità di esportare i differenti sistemi presenti all'interno dello stabilimento, ad esempio, il sistema Heating, Ventilation and Air Conditioning (HVAC). Esportando il modello in formato .ifc mediante l'utilizzo di algoritmi è possibile arricchire il modello di transizione e ridurre i tempi di modellazione e simulazione (Hang and Jiansong, 2023).

La proposta del contributo mostra le potenzialità derivate dalla modellazione informativa finalizzata alla prototipazione di scenari di efficientamento energetico mediante l'applicazione di interfacce grafiche. La speranza è affidata alla capacità dell'uomo di sfruttare le innovazioni proposte per centrare l'obiettivo della neutralità climatica. Questa metodologia permette di raggiungere le caratteristiche principali dell'Industria 5.0 attraverso l'interazione uomo-macchina resa possibile dai sistemi di visualizzazione descritti e dalla possibilità di aggiornare il modello digitale. La stessa metodologia potrebbe essere applicata anche ad altri contesti in cui l'uomo deve o vuole diventare parte integrante del modello.

Il ruolo chiave nella realizzazione di un Gemello Digitale nel settore industriale, e non solo, agevola la gestione del costruito verso la neutralità clima-

tica e il raggiungimento di un ecosistema sostenibile nonostante le difficoltà operative nella digitalizzazione del patrimonio costruito.

Higher temperatures, more violent weather conditions, increased droughts, warming and rising oceans are some of the effects caused by climate change that humanity is witnessing, while global energy demand, as well as dependence on energy imports, is increasing. On this issue, the European Green Deal (European Commission, 2019) is determined to make the energy transition inclusive, turning climate and environmental challenges into opportunities by turning CO₂ emissions to zero by 2050 by adopting limits such as climate neutrality and the pursuit of carbon neutrality (Terenzi, 2022). For this purpose, Information and Communication Technologies (ICTs) play a vital role, considering them capable of proposing innovative economic models and value-creation opportunities within the new global ecosystem: the World Economic Forum Foundation (WEF, 2022) has predicted a potential 15% reduction in global carbon emissions under the influence of ICTs, highlighting the significant role that digitisation could play in addressing the challenges associated with climate neutrality (Ghenai et alii, 2022).

With the advent of digital technologies, there is a paradigm shift towards new methods and tools to innovate decision-making; thanks to innovative visualisation technologies (Ma et alii, 2024), it is possible to optimise the energy performance of buildings (Massari et alii, 2022). The concept of 'innovability', a synchrisis of innovation and sustainability, fits in with previous considerations: the two spheres set up a system to define a new development paradigm that expresses the need to promote and innovate the Planet's resources, exploiting the tools made available by the digital era (Zafagnini and Palmi, 2022).

The influence of the digital / ecological transition can be driven by the awareness of the human being, orienting the Industry 4.0 model (Fig. 1) towards the human-centric vision of Industry 5.0 (Lv, 2023); the emphasis on digitisation and innovative technologies to improve the efficiency and flexibility of production can thus aim to achieve the principles of social justice and sustainability. Technological innovation, guided by the human-centric view, enables industry to provide services to humanity in the long term (Huang et alii, 2022) in a context in which the industrial sector emerges as a significant contributor to greenhouse gas emissions and pollutants in the atmosphere; for this reason, it becomes necessary to carefully examine it from an energy perspective and according to Facciolongo (2018), climate neutrality is achievable by innovating energy production and consumption patterns, rather than simply limiting consumption.

The 'smart factory' concept relies on the new factory-man ecosystem that exposes information about building and production process management and comfort, optimising the resources used to reduce waste production and climate-changing emissions (Romano et alii, 2022). The 'management of the obsolescence of the architectural work' and

its 'life cycle' represent inescapable necessities of a significant conceptual and operational 'extension' of the architectural project itself towards a dimension of human responsibility for the management of the anthropised environment, exploiting digital services (Giallocosta, 2019; Lauria and Azzalin, 2021) Big data, Digital Twins (DTs) and Artificial Intelligence (AI) algorithms can all serve to achieve information requirements helpful to final users (Ryalat, ElMoaqet and AlFaouri, 2023).

Specifically, adopting platforms based on Energy Digital Twins (EDTs; Yu et alii, 2022) defines a new idea of a factory where data becomes visible through graphical interfaces by exploiting interoperability. Its application, combined with smart sen-

sors, can lead to a management and maintenance system of the building and all its technical and technological components towards predictive and programmed approaches (Dejaco et alii, 2022). In this context, interoperability procedures to transfer data from a proprietary modelling platform (BIM authoring) to specific analysis platforms (Building Energy Models – BEMs) offer numerous insights into the issue of data sharing and reliability (Maiezza, 2019). Comparing data from sensors measuring the physical world with those derived from a simulation belonging to the digital world raises several questions related to the level of detail and reliability of digital components (Jung et alii, 2023).

The research aims to consider the BIMtoBEM

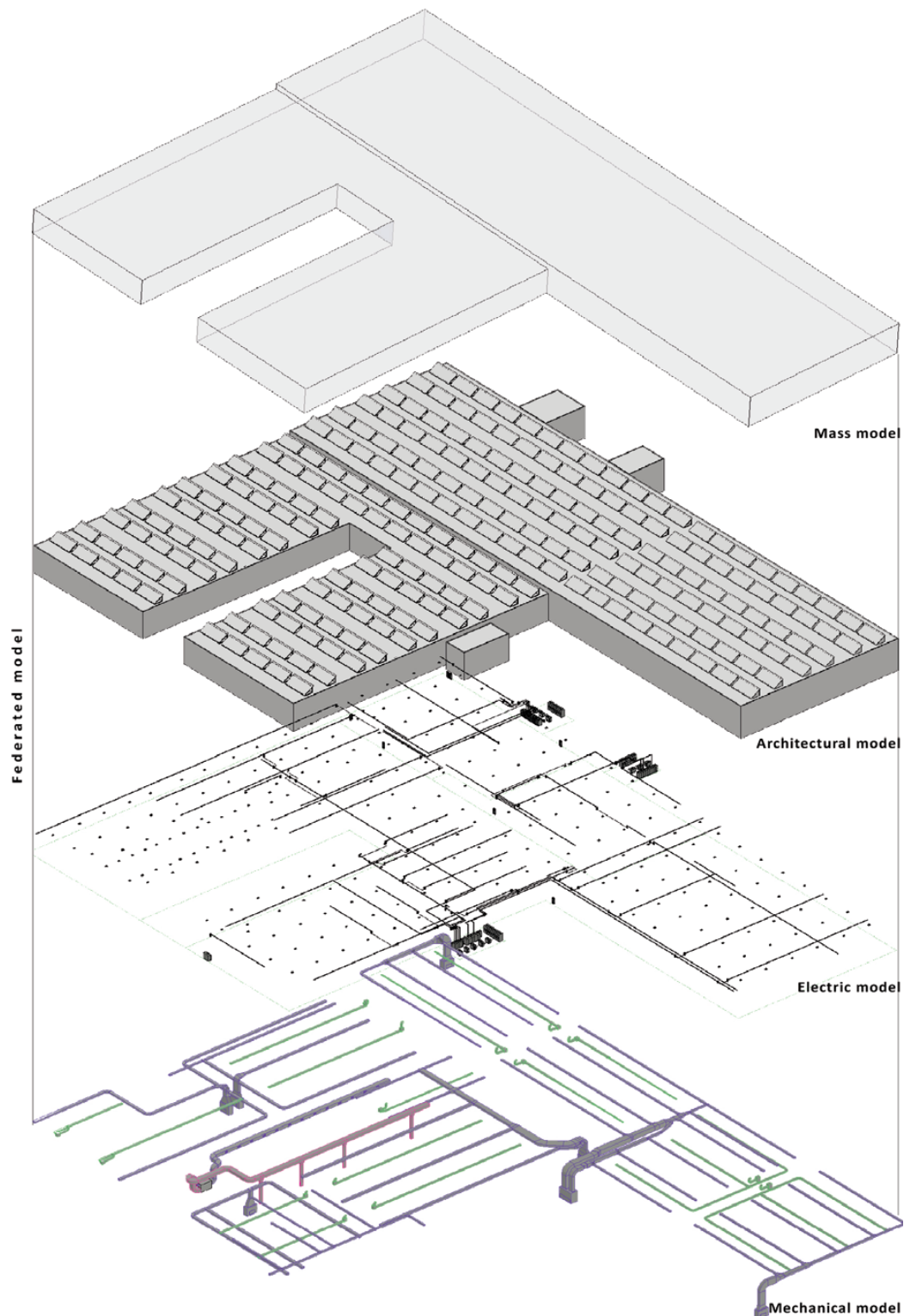
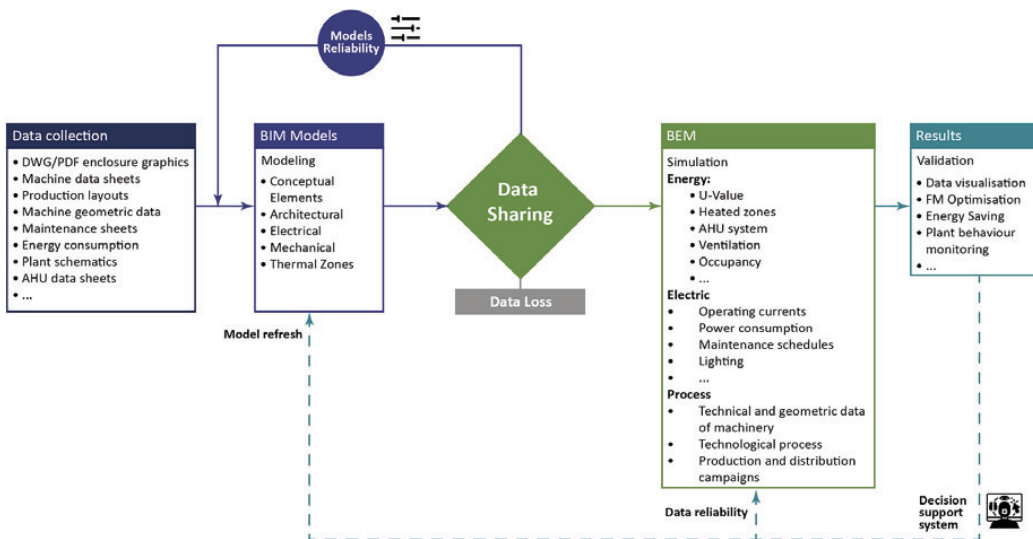
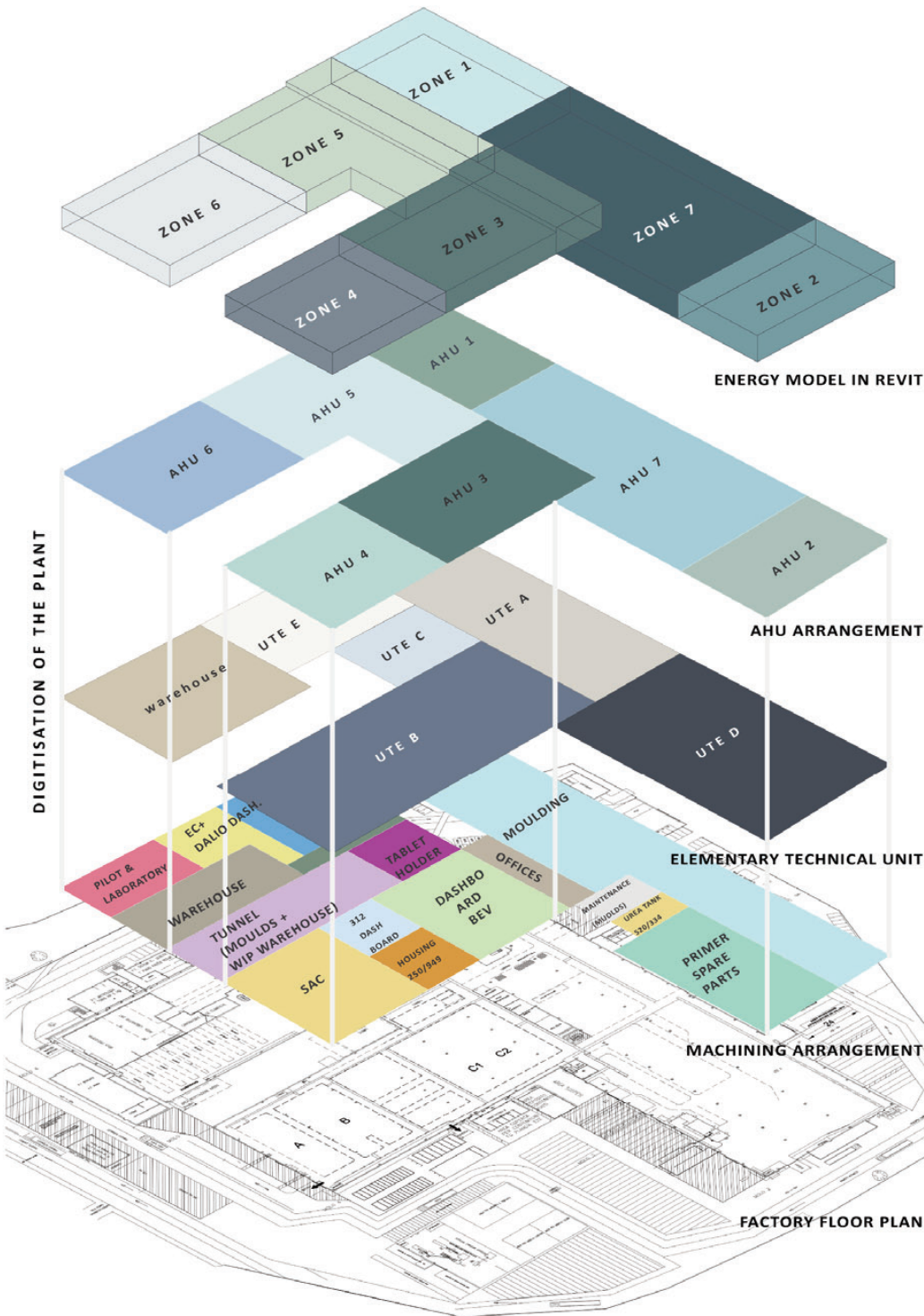


Fig. 9 | Federated BIM Domain (credit: the Authors, 2024).



procedure as a semi-automatic activity capable of generating different scenarios aimed at human-centred decision-making via a graphical interface. The methodological innovation consists of reducing the number of scientifically established steps; by exploiting various export formats and new software implementations, it is possible to optimise production scenarios with lower use of resources. Finally, the contribution investigates the reliability of the proposed simulations, implementing visualisation systems such as digital dashboards and Extended Reality (XR) systems, placing man at the centre of the proposed methodological flow.

State-of-the-art | Established methodologies for energy analysis rely on a well-defined pathway with numerous critical points that significantly increase calculation time and require highly qualified resources. The methodology we plan to explore begins with an analysis of the criticalities of a classical route. As illustrated in Figure 2, the steps to obtain an energy simulation start with model generation on a BIM authoring programme and continue with the export in .gbxml or .ifc format to the different simulation software to evaluate its energy performance. Since the summary of results and simulations comes in tables, text files, or .html format, it is convenient to implement visualisation systems that facilitate users' interpretation of data. The state-of-the-art and case studies in the literature show how BIMtoBEM methodology applies in the construction and industrial sectors, especially in the residential (Bastos Porsani et alii, 2021) or public building sectors (Jung et alii, 2023).

A comparison of the different studies in the literature shows that enrichment of energy information is necessary for achieving model calibration, while the main critical issues lie in the export of geometries and information. With this in mind, the contribution aims to describe an innovative methodology based on new visualisation systems capable of resolving the criticalities that have emerged using a widely established methodology. The methodology allows for shorter BEM model enrichment times and the possibility to interact with the model by interpreting the results readily, freeing one from the problems associated with exporting and using energy software. Innovation comes from a direct calculation engine in the latest versions of the BIM creation software, which allows energy simulations in different scenarios and configurations. Digital dashboard systems or XR systems ensure simple interpretation of reports in .html format of simulation results by several users (Fig. 3).

The innovation of the proposed method focuses on the ability to evaluate and act on the model through the interpretation of the results: the fundamental difference to the traditional methodology is the considerable reduction in simulation time and available resources (Fig. 4). The critical aspect of the analysed method lies in the reliability of the simulation results caused by not using specific energy simulation software. However, having found the most efficient model configuration, it is possible to export it and carry out detailed simulations: directly exporting the model's best energy solution con-

Fig. 10 | BEM Domain (credit: the Authors, 2024).

Fig. 11 | BIMtoBEM methodological scheme (credit: the Authors, 2024).

tributes to a reduction in time compared to the traditional process and a considerable increase in the reliability of the results.

Methodology and research steps | Starting the transition to Industry 5.0 requires the creation of a detailed digital representation of the building, a fundamental process that starts with the exhaustive collection of data (Maiezza, 2019). This initial phase is a complex and laborious process, involving considerable challenges and time costs (Sriyolja, Harwin and Yahya, 2021). The research and development of the methodology reported in this paper is funded by the National Resilience Plan through the research project MANufacturing Automotive Green Evolution 5.0 (Manage5.0), based on the effective development of the DT of an industrial plant (Fig. 5), which is a crucial tool for the advancement towards Industry 5.0. Applying the methodology to the case study highlighted how human-centredness is essential for sustainability and climate neutrality.

The management scheme (Fig. 6) describes the centrality of the human action of observing, planning and acting by mitigating and adapting one's behaviour, defining a strategy based on the interaction between the physical and digital world through the User eXperience (UX), exploiting a DT. The use of UX-oriented devices enables visualisation, monitoring and interaction with different digital scenarios (Fig. 7). XR concepts influence cost, time and resource usage in the management phases of installed systems (Namjoshi and Rawat, 2022).

The main concepts of Industry 5.0 lie in human-machine interaction, the ability to interoperate with the available technologies and use them to adapt production to human needs, which is why a digital model based on the concept of Human-centred Interaction (HCI) is needed. With the human being as the focal point of the model (Fig. 8), his perception, experience, and sensations will create the link between the physical and digital worlds. Furthermore, humans, in addition to enjoying the multiple benefits of the creation of a DT as the ability to monitor, visualise and manage different scenar-

ios, will have the opportunity to act and interact directly with it, thus creating a temporal continuum between man and machine (Tao et alii, 2022); in this way, graphical interfaces will be able to trigger mitigation and adaptation actions for resilience and sustainability. DT creation focuses on the possibility of receiving data from static and dynamic inputs and manipulating them to create graphical interfaces for plant-wide management (De Luca et alii, 2021).

This research consists of the phases of data collection, BIMtoBEM information flow, BEM simulation and visualisation of results to consolidate the described methodology and achieve the goals of sustainability, climate neutrality and Industry 5.0 principles.

Data Collection | The first phase involves data collection and exchange; the principal information for realising the model was found through the interaction between the digital construction management expert and the client, starting from the surveys carried out with traditional approaches and the possibility of using innovative acquisition technologies.

Primary input data comes from historical documentation, architectural factory data and the different IoT systems installed within the factory. The use of applications, dashboards and XR systems allow interaction with the virtual replica of the model. The interpretation of the digital model visualisation takes on different meanings depending on the type of user profile: maintenance teams, for example, will be able to monitor the components within the plant and assess the best approach for maintenance, reducing intervention times and risks at work. A model generated in this way provides added value to the industrial building.

Keeping up with changing regulatory requirements and technological innovations requires constant research and progressive solutions for data collection, management and analysis. There is often considerable confusion in the search for input data due to countless changes in the production layout that result in a low level of reliability (Massafra,

Predari and Gulli, 2022). Only a diligent and innovative approach to data collection ensures the success and longevity of DT in the context of Industry 5.0 (Boje et alii, 2023).

BIMtoBEM information flow | Following the detailed analysis phase of the criticality of the collected data, the second phase concerns the information flow following the construction of the BIM model and the BEM model. The DT platform we propose relies on heterogeneous static and dynamic data domains: a) the BIM domain, providing reliable technical record definition; the BEM domain, for energy assessments; and BIMtoBEM flow. The contribution concentrates on the BIMtoBEM process, focusing on the main aspects of energy efficiency and visualisation. The BIM data domain consists of the federation of conceptual, architectural and plant, electrical and mechanical models (Fig. 9). The use of the federated BIM model, produced with the Autodesk Revit platform, ensures data exchange between different professionals involved and allows the visualisation of interference between different installed systems (Russo Ermolli and Galluccio, 2019). The data from the BIM domain take in the thermophysical properties of the envelope and its thermal zones, the characteristics of the ventilation and air conditioning systems culminating in the development of BEMs models (Fig. 10) for the digitisation of the plant.

The BIMtoBEM flow (Fig. 11) starts with the acquisition of information requirements for the development of the BIM model and the subsequent transformation into a BEM model through an exchange of information guaranteed by the interoperability between models, software and databases (Del Giudice et alii, 2021). BEM model creation, which is beneficial for energy, electrical and process simulations, requires filtering of input data through data sharing. Creating a BEM model – useful for energy, electrical and process simulations – requires filtering of input data through Data Sharing. During this process, there is an evaluation of all the data shared by the different models, with the selection

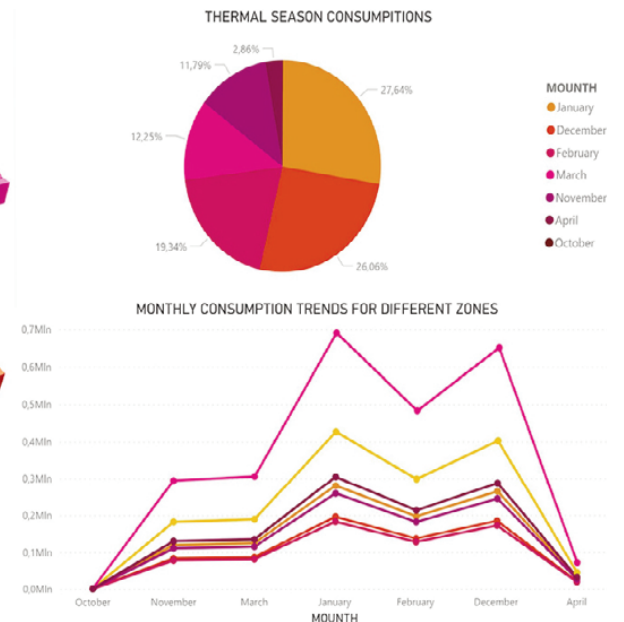
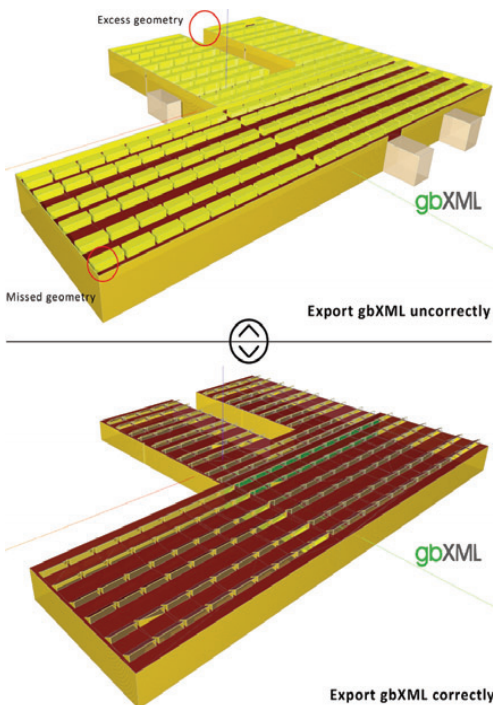


Fig. 12 | gbxml interoperability (credit: the Authors, 2024).

Fig. 13 | Digital dashboard concept for industrial management (credit: the Authors, 2024).

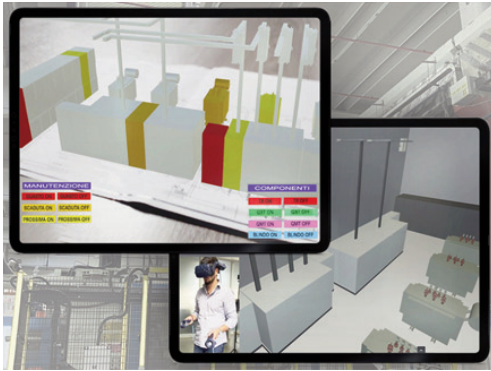


Fig. 14 | eXtended Reality for industrial plant management (credit: the Authors, 2024).

of those relevant to the BEM model and several simulation runs. The comparison of the information received from the BIM models makes it possible to identify inconsistencies in the realisation of the models: this allows calibration to take place, increasing the reliability of models and simulations, increasing the reliability of models and simulations (Saad and Eicker, 2023).

Several interoperability tests with different energy simulation software took place to validate the reliability of the proposed methodology (Bastos Porsani et alii, 2021) by exporting the model in Green Building XML (.gbxml). The tests confirmed the criticality and high time required to correctly export all the geometries in the model (Fig. 12).

BEM simulations | The BEM simulation, following the export and enrichment of the model with the energy parameters, was processed through the use of EnergyPlus, one of the most high-performance and widely used energy calculation engines in the industry (Di Biccari et alii, 2022). The different parameters set in the energy model are the level of infiltration, occupancy, ventilation and the configurations of the various thermal zones in the plant. The calibration of the model, to obtain a thin margin between actual and simulated energy consumption and to increase the reliability of the simulations, was based on the customisation of the climate file in the EnergyPlus Weather format, i.e. .epw (Moradi et alii, 2023). The enrichment of information significantly increases the reliability of simulation outcomes while at the same time significantly increasing the simulation time and the difficulty of reading the data. The interpretation and understanding of simulation results vary depending on the type of user interfacing with the visualisation systems.

Constructing a DT also allows simulations concerning the different plant installations possible. The electrical simulations undertaken in the case study

under examination focus on the maintenance and management aspects of the plant's various installations, lighting analysis and the monitoring of energy flows in the building. Finally, it is possible to recreate scenarios relating to managing processes and products within the plant. Following the procedure, it can easily visualise data and scenarios, manage building maintenance and develop energy efficiency and monitoring scenarios for different energy carriers. The decision, the critical aspect and the user experience become integral in increasing the reliability of simulations (Chong, Gu and Jia, 2021), the continuous updating of models and the development of human-centred concepts related to Industry 5.0.

Results | An ecosystem where humans mediate between the visualisation interfaces and the model allows for a digital twin based on actuators and artificial intelligence to connect the natural world to the building (Ratti and Belleri, 2020). The present study proposes a methodology for conducting energy simulations of the plant, intending to facilitate the interpretation of results through the use of innovative digital dashboards and reduce simulation time; this allows for the adaptation of decision-making processes related to different production layouts to mitigate energy consumption (Zheng et alii, 2023).

An example of a digital dashboard (Fig. 13) depicts a possible graphic interface of the production layout. Different thermal areas in the model are themed to represent the energy consumption generated by the free heat input, processing and accounting for hourly variations in the HVAC system. HCI depends on the type of user who interfaces with the visualisation of this data. The awareness of the operator, the engineering solutions that the facility manager can provide or the investment choices made by the controlling company can be some of the interactions that can take place between the display and the digital twin (Pan et alii, 2023).

The second aspect addressed concerns the use of XR systems. Augmented Reality scenarios allowing modelled plant components to display the actual world over the digital world came into play. Figure 14 shows a possible interaction with the electrical cabin components, applying automation to maintenance management by exploiting thematic filters. The user experience focuses on component management and the ability of the facility manager to safely explain to operators the necessary operations, which can lead to a reduction in resources, materials and emissions due to inefficient maintenance management. Similarly, using Virtual Reality (Cárdenas-Robledo et alii, 2022), it is possible to create immersive scenarios to visualise, interact and communicate maintenance interventions, mon-

itor key device parameters and safely train maintenance teams.

Conclusions | The digital transformation era imposes a paradigm shift in the construction industry, influenced by climate change that stresses natural and artificial ecosystems. The digital ecosystem described in the contribution assumes a leading role in sustainable innovation and circular economy, supporting companies, organisations and Institutions to reduce operating costs, optimise resource use and decrease carbon footprint (Terenzi, 2022). The potential of Digital Twins and the achievement of Industry 5.0 goals suffer from the immaturity of the markets and the difficulty of reaching different users. Future developments hinge on the possibility of modifying data directly on the model through the visualisation systems proposed in the methodology, centralising the user even more in the flow.

In addition, developing AI systems can aid interaction and utilisation by the designer and users who interface with visualisation systems (Paciotti and Di Stefano, 2021). Use Industry Foundation Classes (.ifc), for model export in XR simulation and visualisation aspects. The use of this format for data exchange is among the most widespread in the world: there are several automations, based on the export of the model in this format, for enriching the Energy Analysis Model (EAM) and improving the efficiency of the BEM simulation (Ramaji, Messner and Mostavi, 2020).

One of the main differences between the .gbxml and .ifc formats lies in the possibility of exporting the different systems within the plant, such as the Heating, Ventilation and Air Conditioning (HVAC) system. Exporting the model in .ifc format and using algorithms can enrich the transition model and reduce modelling and simulation time (Hang and Jiansong, 2023).

This contribution shows the potential of information modelling for prototyping energy efficiency scenarios by applying graphical interfaces. The hope lies in man's ability to mitigate and exploit the proposed innovations to achieve the goal of climate neutrality. This methodology achieves the main features of Industry 5.0 through the human-machine interaction made possible by the visualisation systems described and the possibility of updating the digital model. The same methodology might apply to other contexts where humans must or want to become part of the model.

The core role in implementing Digital Twins in industry and beyond facilitates the management of the built environment towards climate neutrality and achieving a sustainable ecosystem despite operational difficulties in digitising the built heritage.

Acknowledgements

The Authors would like to thank the MANAGE 5.0 project, funded by the Ministry of Economic Development – MISE (PNRR – Complementary Plan).

References

Bastos Porsani, G., Del Valle de Lersundi, K., Sánchez-Ostiz Gutiérrez, A. and Fernández Bandera, C. (2021), "In-

teroperability between Building Information Modelling (BIM) and Building Energy Model (BEM)", in *Applied Sciences*, vol. 11, issue 5, article 2167, pp. 1-20. [Online] Available at: doi.org/10.3390/app11052167 [Accessed 24 March 2024].

Boje, C., Hahn Menacho, Á. J., Marvuglia, A., Benetto, E., Kubicki, S., Schaubroek, T. and Navarrete Gutiérrez, T. (2023), "A framework using BIM and digital twins in facilitating LCSA for buildings", in *Journal of Building Engineering*, vol. 76, article 107232, pp. 1-21. [Online] Avail-

able at: doi.org/10.1016/j.jobee.2023.107232 [Accessed 24 March 2024].

Cárdenas-Robledo, L. A., Hernández-Urbe, Ó., Reta, C. and Cantoral-Ceballos, J. A. (2022), "Extended reality applications in industry 4.0 – A systematic literature review", in *Telematics and Informatics*, vol. 73, article 101863, pp. 1-39. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.tele.2022.101863 [Accessed 24 March 2024].

Chong, A., Gu, Y. and Jia, H. (2021), "Calibrating building energy simulation models – A review of the basics to

- guide future work”, in *Energy and Buildings*, vol. 253, article 111533, pp. 1-21. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111533 [Accessed 24 March 2024].
- De Luca, D., Dettori, M., Del Giudice, M. and Osello, A. (2021), “Connected BIM Models Towards Industry 4.0”, in Del Giudice, M. and Osello, A. (eds), *Handbook of Research on Developing Smart Cities Based on Digital Twins*, IGI Global, pp. 219-242. [Online] Available at: doi.org/10.4018/978-1-7998-7091-3.ch011 [Accessed 24 March 2024].
- Dejaco, M. C., Scanagatta, C., Mannino, A. and Condotta, M. (2022), “Transizione digitale per il facility management – BIM, CMMS e manutenzione predittiva | Digital transition in facility management – BIM, CMMS and diagnostic maintenance”, in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 12, pp. 168-177. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/12152022 [Accessed 24 March 2024].
- Del Giudice, M., Dettori, M., Magnano, S. and Osello, A. (2021), “A BIM to BEM approach for data exchange: advantages and weaknesses for industrial buildings energy assessment”, in Semenov, V. and Scherer, R. J. (eds), *ECPPM 2021 – eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction – Proceedings of the 13th European Conference on Product and Process Modeling, 15-17 September 2021, Moscow*, CRC Press, pp. 98-105. [Online] Available at: doi.org/10.1201/9781003191476 [Accessed 24 March 2024].
- Di Biccari, C., Calcerano, F., D’Uffizi, F., Esposito, A., Campari, M. and Gliarelli, E. (2022), “Building information modeling and building performance simulation interoperability – State-of-the-art and trends in current literature”, in *Advanced Engineering Informatics*, vol. 54, article 101753, pp. 1-20. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.aei.2022.101753 [Accessed 24 March 2024].
- European Commission (2019), *Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – The European Green Deal*, document 52019DC0640, 640 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN [Accessed 24 March 2024].
- Facciolongo, A. (2018), *Paesaggi e Marginalità – Etica ed Estetica del Terzo Paesaggio*, Mimesis, Milano-Udine.
- Fatta, F. (2020), “Le molte dimensioni del modello digitale | The many dimensions of the digital model”, in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 7, pp. 16-25. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/722020 [Accessed 24 March 2024].
- Ghenai, C., Alhaj Husein, L., Al Nahlawi, M., Hamid, A. K. and Bettayeb, M. (2022), “Recent trends of digital twin technologies in the energy sector – A comprehensive review”, in *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 54, article 102837, pp. 1-17. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.seta.2022.102837 [Accessed 24 March 2024].
- Giallocosta, G. (2019), “Caratteri e criticità di innovazione di processo | Features and critical issues of process innovations”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 5, pp. 5-10. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/512019 [Accessed 24 March 2024].
- Hang, L. and Jiansong, Z. (2023), “Improving IFC-Based Interoperability between BIM and BEM Using Invariant Signatures of HVAC Objects”, in *Journal of Computing in Civil Engineering*, vol. 37, issue 2, article 0402059, pp. 1-20. [Online] Available at: doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0001063 [Accessed 24 March 2024].
- Huang, S., Wang, B., Li, X., Zheng, P., Mourtzis, D. and Wang, L. (2022), “Industry 5.0 and Society 5.0 – Comparison, complementation and co-evolution”, in *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 64, pp. 424-428. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jmsy.2022.07.010 [Accessed 24 March 2024].
- Jung, D. E., Kim, S., Han, S., Yoo, S., Jeong, H., Lee, K. H. and Kim, J. (2023), “Appropriate level of development of in-situ building information modeling for existing building energy modeling implementation”, in *Journal of Building Engineering*, vol. 69, article 106233, pp. 1-14. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.job.2023.106233 [Accessed 24 March 2024].
- Lauria, M. and Azzalin, M. (2021), “Paradigmi | Paradigms”, in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 9, pp. 12-21. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/912021 [Accessed 24 March 2024].
- Lv, Z. (2023), “Digital Twins in Industry 5.0”, in *Research*, vol. 6, article 0071, pp. 1-17. [Online] Available at: spj.science.org/doi/abs/10.34133/research.0071 [Accessed 24 March 2024].
- Ma, J., Yang, L., Wang, D., Li, Y., Xie, Z., Lv, H. and Woo, D. (2024), “Digitalization in response to carbon neutrality – Mechanisms, effects and prospects”, in *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 191, article 114138, pp. 1-24. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.rser.2023.114138 [Accessed 24 March 2024].
- Maiezza, P. (2019), “As-built reliability in architectural HBIM modeling”, in *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. XLII-2/W9, pp. 461-466. [Online] Available at: doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W9-461-2019 [Accessed 24 March 2024].
- Massafra, A., Predari, G. and Gulli, R. (2022), “Towards digital twin driven cultural heritage management – A HBIM-based workflow for energy improvement of modern buildings”, in *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. XLVI-5/W1-2022, pp. 149-157. [Online] Available at: doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVI-5-W1-2022-149-2022 [Accessed 24 March 2024].
- Massari, G. A., Barbini, A., Bernardini, E. and Roman, O. (2022), “Riqualificazione energetica dell’edilizia esistente – Modellazione e gestione geometrico-informativa | Energy retrofitting of existing buildings – Geometric-informative modelling and management”, in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 12, pp. 146-157. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/12132022 [Accessed 24 March 2024].
- Moradi, A., Kavgić, M., Costanzo, V. and Evola, G. (2023), “Impact of typical and actual weather years on the energy simulation of buildings with different construction features and under different climates”, in *Energy*, vol. 270, article 126875, pp. 1-13. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.energy.2023.126875 [Accessed 24 March 2024].
- Namjoshi, J. and Rawat, M. (2022), “Role of smart manufacturing in industry 4.0”, in *Materials Today | Proceedings*, vol. 63, pp. 475-478. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.matpr.2022.03.620 [Accessed 24 March 2024].
- Paciotti, D. and Di Stefano, A. (2021), “Design generativo e prodotto industriale – Connettere la dimensione fisica/digitale del progetto | Generative design and industrial product – Connecting physical/digital dimensions of the project”, in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 10, pp. 158-167. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/10142021 [Accessed 24 March 2024].
- Pan, Y., Zhu, M., Lv, Y., Yang, Y., Liang, Y., Yin, R., Yang, Y., Jia, X., Wang, X., Zeng, F., Huang, S., Hou, D., Xu, L., Yin, R. and Yuan, X. (2023), “Building energy simulation and its application for building performance optimization – A review of methods, tools, and case studies”, in *Advances in Applied Energy*, vol. 10, article 100135, pp. 1-24. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.adapen.2023.100135 [Accessed 24 March 2024].
- Ramaji, I. J., Messner, J. I. and Mostavi, E. (2020), “IFC-Based BIM-to-BEM Model Transformation”, in *Journal of Computing in Civil Engineering*, vol. 34, issue 3, pp. 1-13. [Online] Available at: doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000880 [Accessed 24 March 2024].
- Ratti, C. and Belleri, D. (2020), “Verso una cyber-ecologia | Towards a cyber ecology”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 8, pp. 8-19. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/812020 [Accessed 24 March 2024].
- Romano, R., Belardi, E., Gallo, P. and Distefano, D. L. (2022), “Sistemi costruttivi low-tech 4.0 – Innovazione di prodotto-processo BIM-based per la prefabbricazione in cartone ondulato | 4.0 low-tech building systems – BIM-based product-process innovation for corrugated cardboard prefabrication”, in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 12, pp. 158-167. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/12142022 [Accessed 24 March 2024].
- Russo Ermolli, S. and Galluccio, G. (2019), “Industrializzazione Edilizia e Prefabbricazione tra Materialità e Immaterialità | Building Industrialization and Prefabrication between Materiality and Immateriality”, in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 5, pp. 93-100. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/5102019 [Accessed 24 March 2024].
- Ryalat, M., ElMoaqet, H. and AlFaouri, M. (2023), “Design of a Smart Factory Based on Cyber-Physical Systems and Internet of Things towards Industry 4.0”, in *Applied Sciences*, vol. 13, issue 4, article 2156, pp. 1-19. [Online] Available at: doi.org/10.3390/app13042156 [Accessed 24 March 2024].
- Saad, M. M. and Eicker, U. (2023), “Investigating the reliability of building energy models – Comparative analysis of the impact of data pipelines and model complexities”, in *Journal of Building Engineering*, vol. 71, article 106511, pp. 1-23. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.job.2023.106511 [Accessed 24 March 2024].
- Sriyolja, Z., Harwin, N. and Yahya, K. (2021), “Barriers to Implement Building Information Modeling (BIM) in Construction Industry – A Critical Review”, in *IOP Conference Series | Earth and Environmental Science*, vol. 738, pp. 1-10. [Online] Available at: doi.org/10.1088/1755-1315/738/1/012021 [Accessed 24 March 2024].
- Tao, F., Xiao, B., Qi, Q., Cheng, J. and Ji, P. (2022), “Digital twin modelling”, in *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 64, pp. 372-389. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jmsy.2022.06.015 [Accessed 24 March 2024].
- Terenzi, B. (2022), “Design vs Disegno – Reale vs Virtuale – Il Digital Twin come approccio olistico alla sostenibilità | Design vs Disegno – Real vs Virtual – The Digital Twin as a Holistic Approach to Sustainability”, in *disegno | Biannual Journal of the UID*, n. 11, pp. 159-170. [Online] Available at: doi.org/10.26375/diseigno.11.2022.17 [Accessed 24 March 2024].
- WEF – World Economic Forum (2022), “A digital silver bullet for the world – Digitalization”, in *weforum.org*, 19/05/2022. [Online] Available at: weforum.org/agenda/2022/05/a-digital-silver-bullet-for-the-world/ [Accessed 24 March 2024].
- Yu, W., Patros, P., Young, B., Klinac, E. and Walmsley, T. G. (2022), “Energy digital twin technology for industrial energy management – Classification, challenges and future”, in *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 161, article 112407, pp. 1-14. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.rser.2022.112407 [Accessed 24 March 2024].
- Zaffagnini, T. and Palmi, O. (2022), “Retrospective e prospettive sul rapporto tra progetto, tecnologia e neocibernetica | Past and future of the connection between project, technology and neocybernetics”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 12, pp. 24-35. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/122022 [Accessed 24 March 2024].
- Zheng, P., Liu, J., Liu, P. and Nakanishi, Y. (2023), “An optimal operational scheduling model for energy-efficient building with dynamic heat loss prediction”, in *Energy and Buildings*, vol. 280, article 112735, pp. 1-16. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112735 [Accessed 24 March 2024].

ARTICLE INFO

Received	18 March 2024
Revised	21 April 2024
Accepted	27 April 2024
Published	30 June 2024

INFRASTRUTTURE DI MOBILITÀ INTELLIGENTI E SOSTENIBILI

Un nuovo sistema di connessioni urbane

SMART AND SUSTAINABLE MOBILITY INFRASTRUCTURE

A new system of urban connections

Davide Bruno, Stefania Palmieri, Riccardo Palomba,
Felice D'Alessandro, Mario Bisson

ABSTRACT

Il contributo pone l'attenzione sul tema della smart city quale centro di un nuovo sistema di sperimentazione di connessioni urbane. A partire dall'analisi di un'esperienza progettuale attualmente in corso la narrazione mira a estrapolare i principi generali di un modello di sviluppo sostenibile di infrastrutture di mobilità intelligenti da prefigurare in ambienti urbani consolidati o ancora da realizzare, mostrando un'applicazione 'umanistica' della tecnologia in cui il design, l'architettura e gli strumenti digitali coesistono per generare innovazione nella creazione di una nuova città del futuro.

The paper focuses on the smart city theme as the centre of a new system for experimenting with urban connections. It begins with analysing a current design experience narrative. It aims to extrapolate the general principles of a sustainable development model of smart mobility infrastructure in established or yet-to-be-realised urban environments. It will demonstrate a 'humanistic' application of technology in which design, architecture and digital tools coexist to generate an alternative of innovation in creating a new future city.

KEYWORDS

sistema di trasporto intelligente, smart city, mobilità urbana sostenibile, veicoli autonomi intelligenti, reti stradali urbane intelligenti

smart transportation system, smart city, sustainable urban mobility, smart autonomous vehicles, smart urban road networks

Davide Bruno, Architect and PhD, is an Associate Professor of Industrial Design at the Politecnico di Milano (Italy). Former Member of the Commission of Patents of Polimi, he received the Golden Compass prize as part of the university project Agency SDI in 2001. In recent years, he carried out planning activities and consultancy in the field of public transportation, coordinating projects of high complexity. E-mail: davide.bruno@polimi.it

Stefania Palmieri, PhD, is an Associate Professor of Industrial Design at the Politecnico di Milano (Italy). Her research activities aim to create a network with the productive world aimed at synergies between University and Enterprise to realise cultural networks and interchange. She is part of the Scientific Committee of the interdepartmental laboratory EDME. E-mail: stefania.palmieri@polimi.it

Riccardo Palomba, Interior and Product Designer, is a Junior Researcher at the Politecnico di Milano and the President of the Intra Association. He researches methodologies for creating spatial regenerative strategies focusing on interventions in abandoned rural contexts. E-mail: riccardo.palomba@polimi.it

Felice D'Alessandro, Civil Engineer and PhD, is an Associate Professor at the Department of Environmental Science and Policy, University of Milan (Italy). He carried out physical model tests in highly qualified international Laboratories. His research activity mainly focuses on environmental hydraulics and risk assessment. E-mail: felice.dalessandro@unimi.it

Mario Bisson, Architect, is an Associate Professor of Industrial Design at the Department of Design at the Politecnico di Milano (Italy). He is the Scientific Director of the Interdepartmental Laboratory EDME (Environmental Design and Multisensory Experience) and the Colour Laboratory. E-mail: mario.bisson@polimi.it



Comunemente impiegata per le strategie di pianificazione urbanistica legate all'innovazione – con particolare riferimento alle potenzialità offerte dalle tecnologie della comunicazione – la locuzione 'smart city' pone in relazione le infrastrutture materiali delle città con le loro controparti virtuali nel mondo digitale integrando, in una logica di sistema, il capitale umano, intellettuale e sociale di chi le abita. Tale idea o visione urbana ambisce a fornire una risposta ad alcuni aspetti di indefinitezza, emersi o amplificati dalla fase di diffusione pandemica del Covid-19, che si riflettono nella frammentazione delle città contemporanee, ovvero in quel 'mondo spezzato' caratterizzato da profonde disuguaglianze sistemiche, disparità economiche e sociali, accesso diseguale all'istruzione e politiche abitative inique o inadeguate (Marcuse, 2003; Jackson, 2014; Mbembe, 2019).

Il tema delle 'smart cities' e della loro capacità 'resiliente' (Gausa, 2019) solleva, in questi termini, interrogativi e propone possibilità sull'assetto della città futura o comunque indirizza verso modelli a-spaziali, o non geometricamente codificabili, accettando che le geometrie complesse delle reti tecnologiche si prestino a essere innestate su modelli urbani preesistenti. La città storica e quella moderna si sono sviluppate seguendo principalmente i due grandi modelli della città a griglia e/o a blocchi – basata sulla nozione di 'superficie' – e della città lineare, che esprime la nozione di 'linea'. Nell'attuale dibattito sul futuro delle città, associato all'idea di 'smart city', il riferimento a un modello spaziale pare assente; è quindi da chiedersi se dopo quello della 'superficie' e della 'linea' possiamo oggi definire un nuovo modello urbano, rispondente alla nozione di 'smart city'.

In questo contesto si collocano anche le possibilità legate alle 'reti stradali urbane intelligenti', le reti di trasporto della 'smart city' sulle quali agiscono le qualità e le caratteristiche di infrastrutture e dispositivi materiali e immateriali. Tra questi ultimi, in particolare, i 'veicoli intelligenti autonomi' sono una tipologia di mezzo di locomozione a guida autonoma e con controllo in remoto, basato su IoT e big data, che permette di individuare e di variare i tracciati e le caratteristiche dei percorsi di uomini e cose. La natura ibrida di questi ultimi che attraversano i diversi livelli del cosiddetto 'spazio semipubblico' di transizione sovrverte le tradizionali divisioni tra mobilità privata e pubblica e tra percorsi pedonali e percorsi veicolari, consentendo di ridefinire il rapporto strada / edificio, e dunque il modello urbanistico anche in chiave architettonica.

Soluzioni di questo tipo rappresentano una delle sfide della transizione energetica che richiede una nuova visione della mobilità improntata su tecnologie innovative con ridotte emissioni inquinanti; è questo uno dei tasselli imprescindibili del percorso verso un'economia efficiente nell'uso delle risorse con produzione di carbonio in continua diminuzione.

Le caratteristiche complesse dei veicoli intelligenti autonomi consentono di pensarli come piccole stanze autonome in movimento, ovvero spazi vitali in grado di svolgere funzioni collettive e itineranti, e di assimilarli a elementi fondativi e primari della città. Si definisce, quindi, un nuovo modello di 'smart mobility' (Butler, Yigitcanlar and Paz, 2020; Durand et alii, 2022; Groth, 2019; Paiva et alii, 2021; Porru et alii, 2020) basato sul concetto

di 'spazio flessibile' inteso come integrazione tra 'spazio fisico' e 'spazio digitale' (Ratti and Claudel, 2019; Scalisi, 2021).

In un processo di inversione concettuale assimilabile al gesto di Le Corbusier sugli edifici – che affermava di progettare e disporre prima gli arredi e poi i muri – la pulviscolare galassia di elementi di trasporto della 'smart city' potrebbe introdurre un nuovo modello di 'città per punti', quale insieme di 'bit', ossia la pietra di fondazione della galassia digitale, laddove i punti sono costituiti dagli stessi dispositivi di 'smart mobility' ma anche dai primi spazi nodali di interscambio: spazi semipubblici tra la città delle 'stanze fisse' e la città delle 'stanze mobili' (Fig. 1).

Alla luce di tali considerazioni il testo illustra il caso studio della città di fondazione di Gwangmyeong¹ in Corea del Sud; nello specifico, esplorando i contenuti del Masterplan², il contributo ha l'obiettivo di richiamare alcune strategie progettuali di rigenerazione del tessuto urbano, per estrapolare nuove linee metodologiche volte alla ricerca di un equilibrio tra le istanze di cambiamento dei sistemi urbani e le odierne esigenze di resilienza, sostenibilità, trasformazione e fruizione degli spazi collettivi (UN General Assembly, 2015; UN General Assembly, 2017; Rockefeller Foundation and ARUP, 2015), secondo i principi della multifunzionalità, connettività e transcalarità (European Commission, 2013).

La variabile 'tempo' è assunta come elemento critico nel design della 'smart city' mentre i concetti di 'cronourbanesimo'³ e 'città dei 15 minuti' sono assunti come modelli praticabili di una pianificazione sostenibile dei sistemi urbani (Moreno et alii, 2021) in sinergia con gli obiettivi per la neutralità climatica da raggiungere entro il 2050 (European Commission – Directorate-General for Research and Innovation, 2020).

Il presente contributo si inquadra nell'ambito tematico del 'design per l'ambiente, il paesaggio e la mobilità sostenibile': la forte vocazione multidisciplinare del progetto, che abbraccia diversi settori ERC, dalle scienze sociali e umanistiche (SH3_1, SH7_7, SH7_9), alle scienze fisiche, dell'informazione e ingegneria (PE5_6), evidenzia il suo potenziale impatto sulla Comunità Scientifica Internazionale. In particolare l'articolo pone l'accento sul concetto di 'innovability'⁴ e al contempo contribuisce allo sviluppo e alla sperimentazione di strategie di pianificazione urbana per ridisegnare spazi pubblici più attraenti e infrastrutture di mobilità intelligenti e sostenibili, attraverso la costruzione di comunità più consapevoli e partecipi a un tema complesso quale quello della mobilità intelligente.

Allo scopo il contributo descrive dapprima l'idea progettuale che identifica la 'smart city' quale centro di un nuovo sistema di sperimentazione di connessioni urbane, evidenziando le finalità dello studio e l'approccio metodologico adottato, e successivamente presenta un modello 'ibrido' di città di prossimità illustrando le scelte di ordine modulare e gli apporti del processo di co-design che hanno condotto alla proposta degli 'smart trams' pensati come stanze vitali itineranti; dopo aver posto in evidenza i principali limiti e barriere dello studio, si riportano alcune riflessioni conclusive.

Finalità dello studio e approccio metodologico | L'idea progettuale mira a esplorare possibili

soluzioni con la finalità di ridurre la frammentazione urbana e le disuguaglianze, ovvero ricomporre come tessere di un mosaico gli elementi del 'mondo spezzato' in accordo al paradigma della sostenibilità sociale (Fig. 2). Il ruolo centrale, in questo caso, non è affidato a interventi puntuali, ma a un innovativo sistema di trasporto diffuso: applicando tecnologie software e hardware si propone di trasformare le infrastrutture e i veicoli utilizzati per la mobilità in luoghi vitali destinati a svolgere funzioni collettive e itineranti. Attraverso un'accurata pianificazione urbana tali funzioni possono raggiungere e servire qualsiasi area della città, trasformando così i diversi quartieri in un sistema integrato e inclusivo. Le infrastrutture e i trasporti rappresentano il tessuto connettivo sociale ed economico della città: veicoli di integrazione fisica e metaforica.

Il disegno della città del futuro trae ispirazione da recenti esperienze progettuali, tuttora in fase di realizzazione e finalizzate alla creazione di un ambiente urbano sostenibile, basato sull'innovazione dei sistemi di trasporto e infrastrutturali. La 'città sperimentale' di Woven City, in Giappone, ideata dalla Toyota⁵ e in fase di costruzione, si fonda su una griglia ortogonale di estensione pari a settanta ettari ed è attraversata da veicoli autonomi futuristici che viaggiano a velocità diverse fornendo una pluralità di servizi agli utenti (Fig. 3). Il progetto di Gwangmyeong adotta la stessa tecnologia; tuttavia, a differenza di Woven City, non è finalizzato a creare veicoli dalle forme avveniristiche e innovative, ma a una nuova concezione di un mezzo di trasporto dal fascino antico e pur sempre attuale nella realtà, che ha attraversato quasi due secoli di storia urbana senza subire troppe trasformazioni: il tram (Fig. 4).

Il sistema di mobilità urbana di Gwangmyeong, nello specifico, si basa dunque sugli 'smart trams' come veicoli intelligenti; la loro struttura pesante, simile a quella dei tradizionali tram – a sua volta derivata da quella dei treni – consente di implementare i mezzi con plus architettonici e funzionali, e di trasformarli in stanze in movimento (a diverse destinazioni d'uso), oppure in vettori logistici (ad esempio per la distribuzione delle merci o la raccolta dei rifiuti urbani). Tale 'natura ibrida' permette ai vettori di muoversi su più livelli di transizione, consentendo di ridefinire il rapporto strada / edificio e la tradizionale suddivisione tra architettura e infrastruttura.

Gli 'smart trams' e i nodi di interscambio della rete infrastrutturale definiscono un luogo urbano 'transitivo' di stanze mobili, che si pongono in relazione con la 'città fissa', come una seconda pietra di fondazione della città, mobile nel tempo e nello spazio. La loro natura atopica e le loro proprietà sistemiche, tipiche dei prodotti dell'industrial design e del 'service design', li predispongono a essere agilmente aggiornati e rinnovati nel tempo in caso di obsolescenza funzionale.

Per attuare un progetto così ambizioso si è rivelato fondamentale il coinvolgimento dell'intero gruppo di lavoro multidisciplinare, promuovendo un approccio costruttivo teso a facilitare uno scambio di opinioni, metodi e buone pratiche per valorizzare gli esiti del dialogo e del confronto. Iniziative di coinvolgimento, workshops e cicli seminari sono state avviate allo scopo di prevenire i rischi di una gestione rigida e non-inclusiva del progetto così da attivare percorsi collaborativi e par-



Fig. 1 | Conceptual model of 'city by points' (credit: R. Palomba, 2024).

tecipativi delle diverse aree tematiche coinvolte (architettura, paesaggio, trasporti) per generare valore condiviso. Un tale approccio consente di ottenere vantaggi a beneficio sia del governo della città, rafforzando la sua capacità di perseguire gli obiettivi strategici, sia dei portatori d'interesse, fornendo risposte alle loro esigenze e aspettative.

L'approccio metodologico adottato ha previsto che il progetto si sviluppasse in tre fasi ('comprensione', 'definizione', 'realizzazione') distinte ma complementari, ciascuna suddivisa in sottofasi di attività, configurando un processo interattivo da condurre in parallelo, con momenti intermedi di integrazione reciproca delle parti e di valutazione dei risultati parziali raggiunti al fine di determinare l'impatto di eventuali criticità rispetto agli obiettivi prefissati ex ante (Fig. 5). Tale approccio metodologico non è comune nel contesto sudcoreano, dove lo sviluppo dei diversi ambiti progettuali, pur garantendo la necessaria coerenza tecnico-scientifica, procede spesso su binari indipendenti.

La fase di 'comprensione' ha tratto spunto da riflessioni ed esperienze sul campo in città europee selezionate quali modelli di riferimento, ovvero Milano, Madrid e Barcellona, e da un'analisi approfondita delle strategie di mobilità in contesti urbani consolidati di dimensioni simili, quali Strasburgo (Francia), Bergen (Norvegia) e Nottingham (Inghilterra). L'esperienza diretta e l'elaborazione dei dati acquisiti durante la fase esplorativa di 'comprensione' hanno orientato le scelte progettuali verso il sistema di 'tram senza binario', sviluppato nella fase di 'definizione', ritenendo che questo rappresentasse l'opzione di mobilità più adatta al contesto urbano di Gwangmyeong. Oggi, i mezzi di trasporto pubblico più diffusi a Seoul sono la metropolitana (23 linee, comprese quelle extraurbane) e le linee di autobus; tuttavia vale la pena ricordare che un servizio di tram è stato attivo dal 1899 al 1968.

Il modello di città di prossimità | Nuove proposte di un modello urbano sostenibile basate sulla valorizzazione delle relazioni di prossimità, già argomento d'interesse della comunità scientifica e

oggetto di sperimentazioni e test pilota ancora prima delle restrizioni imposte dai governi nazionali per contrastare gli effetti della pandemia da Covid-19, hanno di recente ricevuto un'adeguata attenzione e visibilità nelle riviste scientifiche di settore (Alberti and Radicchi, 2022). Di concerto all'Agenda for a Green and Just Recovery delle città aderenti alla rete C40 – Cities Climate Leadership Group, la declinazione maggiormente adottata di questo nuovo modello urbano è la 'città dei 15 minuti' «[...] whereby all city residents are able to meet most of their needs within a short walk or bicycle ride from their homes» (C40, 2020, p. 30), ovvero un modello 'poli-centrico' di città, che promuove l'intensità sociale alimentando la presenza di articolati legami produttivi.

Come recentemente evidenziato da Alberti e Radicchi (2022), i principi fondamentali da cui questo approccio trova ispirazione non rappresentano concetti inediti nel panorama dell'urbanistica e delle discipline ad essa correlate: solo per citare alcuni esempi, basti pensare alla Neighbourhood Unit, introdotta da Clarence Perry nel 1929, alla teoria delle località centrali di Walter Christaller (1933), agli studi sulla prossimità di Edward T. Hall (1966) applicati alla lettura degli spazi urbani, alle ricerche sulla scala umana avviate da Jan Gehl già negli anni '70, al principio del 'transit oriented development' (Calthorpe, 1993) da cui discende il '20-minute-neighbourhood'.

L'unità di misura temporale su cui si basa il modello di città di prossimità non è dunque univoca, ma si apre a diversi scenari di possibilità: un esempio recente è offerto dal Project H1 a firma di UN-Studio⁶ che trasformerà un sito industriale e un deposito ferroviario di Seoul in uno spazio urbano multifunzionale e diversificato, garantendo che tutti i servizi essenziali siano raggiungibili entro un massimo di '10 minuti' a piedi (Fig. 6).

Il dibattito scientifico sulla riproposizione di un modello di sistema urbano che possa adeguarsi alle nuove sfide di sostenibilità e inclusione sociale emerse a seguito della pandemia da Covid-19 è ancora aperto. È importante sottolineare che semplificare la complessità di una strategia di rigene-

razione urbana ad ampio raggio in una singola unità di misura temporale potrebbe essere fuorviante. L'obiettivo ultimo di tali strategie è superare il divario esistente «[...] anche all'interno di una stessa realtà urbana, fra zone centrali e periferiche dal punto di vista delle dotazioni infrastrutturali, dei servizi, delle possibilità occupazionali, della qualità e cura dello spazio pubblico» (Alberti and Berni, 2020, p. 126).

Sebbene, dunque, secondo una data scuola di pensiero la 'città dei 15 minuti' emerga come un paradigma di pianificazione urbana innovativo e ambizioso che promuove la creazione di città più sostenibili, inclusive e orientate al cittadino, il modello di città proposto per Gwangmyeong in parte se ne distingue, presentando elementi di unicità e originalità: nello specifico, a differenza del decentramento delle funzioni della 'città dei 15 minuti', il progetto prevede che i servizi urbani ritenuti più importanti (strutture scolastiche, culturali, religiose e commerciali) siano centralizzati e raggruppati in aree specifiche che servono l'intera città (Fig. 7).

Il trasporto pubblico non è dunque un semplice sistema di mobilità per il raggiungimento di tali strutture e/o attività, ma fornisce servizi accessori di pubblica utilità. A titolo di esempio, le scuole di Gwangmyeong saranno costituite da edifici / sedi centrali in grado di ospitare aule, laboratori, auditorium, biblioteche, palestre e mense e, allo stesso tempo, gli 'smart trams' fungeranno da aule studio itineranti per attività pre o post-scolastiche. Il circuito del servizio tranviario servirà l'intero territorio cittadino, collegando tutti i suoi quartieri: il tempo del trasporto non sarà più da considerarsi 'tempo perso', ma 'tempo utile' che le persone potranno investire in modo intelligente spostandosi da un luogo all'altro della città; il modello così concepito favorisce l'integrazione tra le diverse componenti della comunità urbana con l'obiettivo di rendere le infrastrutture e gli spazi di trasporto spazi di interrelazione e non semplici luoghi di transito.

Il Masterplan della mobilità sostenibile | Le città rappresentano i luoghi più idonei per la 'valutazione' delle capacità di adattamento dei sistemi urbani agli effetti dei cambiamenti climatici e delle trasformazioni sociali (Kane and Shogren, 2000). L'ambiente urbano si presenta come uno scenario singolare attraverso cui osservare e analizzare bisogni e desideri della società contemporanea; la progettazione di spazi pubblici e infrastrutture pone una maggiore attenzione all'integrazione tra l'ambiente urbano e la mobilità sostenibile, anche in relazione all'offerta e alla gestione dei servizi di prossimità (Fabbri, 2023), promuovendo processi di rigenerazione basati sull'attivazione di nuove funzioni sociali ascrivibili alla città.

Attraverso il caso studio di Gwangmyeong che adotta l'idea di 'modulo' e 'linea' come strumenti progettuali (Sposito and Scalisi, 2023), ci si propone di offrire uno sguardo contemporaneo alle opportunità della mobilità sostenibile quale modello polifunzionale strategico per facilitare le complesse dinamiche della vita urbana, in primo luogo sul tema del trasporto collettivo.

In particolare il Masterplan prevede un tracciato lineare della nuova città, articolato in blocchi, che si snoda in direzione nord-sud lungo il Fiume Han (nell'area meridionale di Seoul) e individua tre

differenti tipologie di infrastruttura per tre durate di viaggio in funzione del numero di fermate previste lungo il percorso: la linea di trasporto ad alta velocità (HS) – caratterizzata da poche fermate – collega la città alle arterie nazionali e agli hubs internazionali; la linea HS, a sua volta, è collegata a un anello di trasporto a media velocità (MS), che attraversa il centro della città e fornisce un percorso per il rapido movimento di persone e merci; infine, in alcuni punti selezionati, l'anello MS intercetta il circuito di trasporto a bassa velocità (LS) che si articola in diversi anelli secondari per il trasferimento capillare di persone e merci ai diversi quartieri della città. Il circuito LS è, a sua volta, collegato a un sistema di trasporto individuale 'dell'ultimo miglio', che offre servizi pubblici e semipubblici e conduce alle abitazioni. L'ubicazione delle fermate e delle stazioni di interscambio è stata progettata per ottimizzare l'efficienza della rete e valorizzare i centri nevralgici del sistema urbano (Figg. 8-10).

Smart trams, stanze in movimento e spazi vitali

Il concept di progetto identifica il mezzo di trasporto come un insieme modulare di stanze in movimento, in grado di svolgere funzioni collettive (ambienti coworking, cabine telefoniche, spazi commerciali itineranti, per citare alcuni esempi). Al loro interno, il numero di stanze mobili da utilizzare per tali scopi può variare in modo flessibile a seconda delle esigenze della comunità; il funzionamento del mezzo di trasporto viene quindi 'riprogrammato' in una nuova logica di accessibilità dei luoghi urbani, focalizzando l'attenzione sui bisogni degli utenti viaggiatori.

Il caso di studio di Gwangmyeong mostra l'alto potenziale dell'informatizzazione dei processi di gestione del trasporto urbano che non sempre corrisponde a un contesto sociale, economico, politico e culturale convincente a causa della sua applicazione parziale e non sempre efficiente delle ICT. Il concetto di 'smart tram' adotta la tecnologia dei sistemi tramviari senza binari (Newman et alii, 2019); i tram intelligenti sono veicoli a guida autonoma e controllati a distanza che consentono percorsi diversi a seconda della popolazione, dei beni e dei servizi. Il sistema di guida autonoma si basa su piattaforme di percezione a tecnologia di sensori per migliorare la sicurezza stradale, mentre l'equipaggiamento tecnico è applicato sia al tram che all'esterno del mezzo. I tram senza rotaie possono attraversare percorsi pedonali e veicolari a velocità e caratteristiche di viaggio diverse, trasformando così le infrastrutture da spazi di transizione a spazi vivibili: la forma e le dimensioni degli spazi possono essere adattate alle caratteristiche del contesto, nuovo o esistente (Fig. 11).

Il progetto dello 'smart tram' di Gwangmyeong non è privo di precedenti, poiché in letteratura si riscontrano diversi casi di studio; tra questi, il Mini-tram coreano, un veicolo che può essere utilizzato in luoghi dove sono necessari brevi intervalli di attesa tra l'arrivo di un treno e il successivo e dove i passeggeri si dirigono verso più destinazioni; l'SMrTram, un 'ascensore orizzontale' destinato a collegare rapidamente diverse parti della città da cui i passeggeri possono raggiungere i servizi a piedi. Lo studio dello stato dell'arte ha preso in considerazione anche esempi che adottano tecnologie più tradizionali, ma che prevedono utilizzi alternativi al trasporto passeggeri, come i tram

merci (Dresda e Zurigo) o l'ATMosfera⁷ di Milano (Fig. 12).

Un prototipo di 'smart tram' è attualmente allo studio degli autori su commessa di una società europea (Fig. 13): la sostenibilità rappresenta il paradigma comportamentale nelle varie fasi progettuali, che fonde la componente hard del design, più legata alla tecnologia, alla morfologia e ai materiali, e quella soft delle relazioni, della condivisione, dell'innovazione sociale (Fagnoni and Olivastri, 2019). La logica modulare che ha guidato il disegno del prodotto non solo agevola produzione e futura manutenzione, ma ha consentito di progettare soluzioni specifiche per ogni contesto, seppur impiegando una stessa struttura di base (Fig. 14).

Definito il quadro esigenziale e i servizi da inserire all'interno delle stanze mobili, si è intrapreso il disegno generale del prototipo e delle modalità di inserimento delle componenti; ogni 'smart tram' è specificatamente progettato per durare a lungo nell'ambiente urbano e garantire una semplice manutenzione, grazie alla possibilità di sostituzione delle dotazioni per sub-assiemi. Contestualmente si è avviata la fase di analisi dei luoghi e del contesto urbano di riferimento individuando le potenziali fermate, ovvero i punti di convergenza di maggiore intensità dei flussi pedonali e ciclabili, e i principali edifici aperti al pubblico senza ancora una chiara identità funzionale ma con un potenziale di aggregazione da valorizzare (Fig. 15).

Discussione su limiti, barriere e sviluppi futuri della proposta progettuale

Il presente contributo mira a stimolare una riflessione sul ruolo del design nel proporre soluzioni innovative per lo sviluppo delle città e delle società contemporanee (Bruno and Crivellaro, 2018; Trisciuglio, 2021). Nel far riferimento al concetto di 'mondo spezzato' si è evidenziato come la frammentazione del sistema urbano in aree distinte dal punto di vista sociale ed economico costituisca un problema che affligge diverse realtà mondiali. Lo sforzo progettuale non si rivela semplicemente tecnico / diagrammatico tipico di una 'smart city', né soltanto formale / morfologico in linea con i modelli più tradizionali di città a 'scala urbana'; al contrario, contemplando entrambi gli aspetti l'idea di città del futuro anela a una simbiosi duale, evidenziando una visione 'umanistica' della tecnologia (Bruno, 2009), in cui l'architettura, le infrastrutture e gli strumenti digitali possano coesistere per generare un'alternativa d'innovazione all'ambiente urbano consolidato (Mattem, 2021).

Rispetto a modelli concettuali e proposte progettuali simili il caso studio di Gwangmyeong mostra aspetti unici e originali e ambisce a colmare alcuni barriere e limiti propri delle precedenti soluzioni. Nello specifico, nel concetto di 'città dei 15 minuti' il trasporto è per scelta limitato poiché i servizi primari sono decentralizzati e facilmente raggiungibili a piedi. Tuttavia decentralizzare implica isolare i singoli quartieri aggravando la condizione di frammentazione urbana; il progetto di Woven City promuove la creazione di spazi centralizzati che agevolino l'integrazione, sebbene il suo layout sia difficile da applicare in contesti urbani preesistenti.

La proposta progettuale di Gwangmyeong, dal canto suo, favorisce l'interconnessione anziché l'isolamento e può essere implementata in

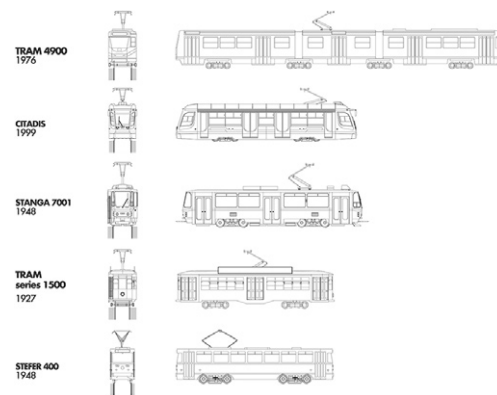
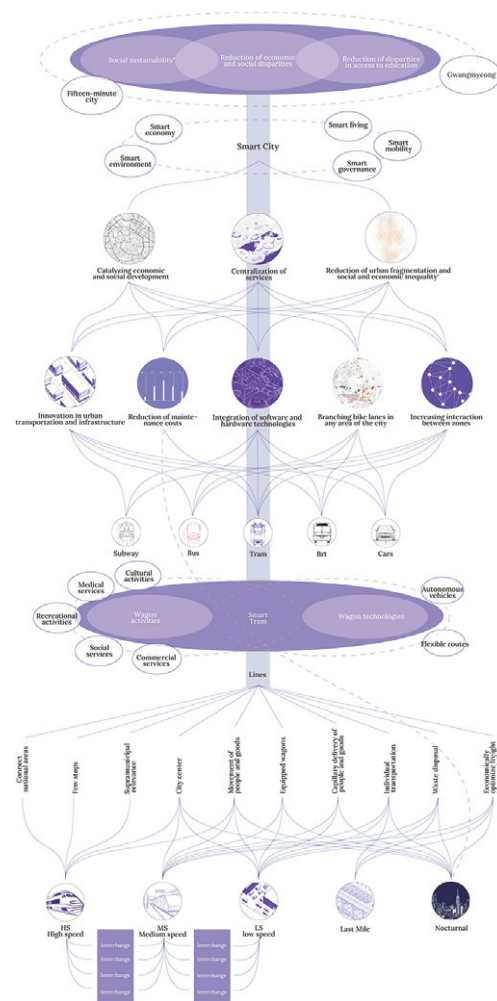


Fig. 2 | Flow chart of design choices (credit: D. Bruno, 2024).

Fig. 3 | Toyota Woven City, Japan (source: woven-city.global, 2024).

Fig. 4 | The City of Milan's Historic fleet of rail transport vehicles (credit: D. Bruno, 2024).

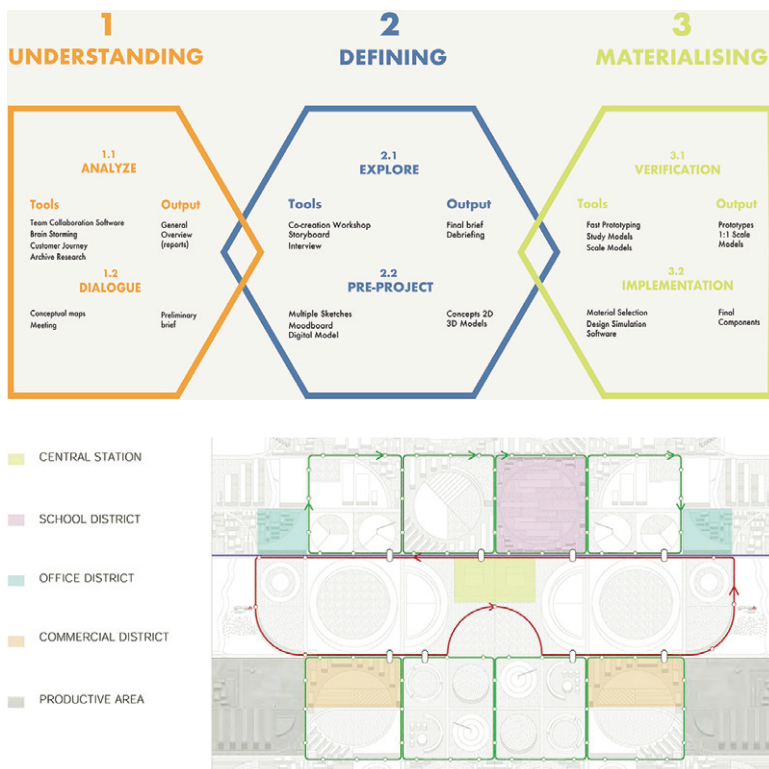


Fig. 5 | Methodological approach and complementarity of project phases (credit: D. Bruno, 2024).

Fig. 6 | Project H1 – ‘10-minute city,’ Seoul, South Korea (credit: UNStudio, 2021).

Fig. 7 | Distribution of urban services in specific areas of Gwangmyeong City (credit: D. Bruno, 2022).

contesti urbani nuovi su varie scale, mostrando una certa flessibilità parametrica, ovvero possibilità di adeguamento del progetto a diverse configurazioni dimensionali. Una barriera è invece rappresentata dalla difficile replicabilità e trasferibilità del modello concettuale proposto in contesti urbani preesistenti.

La centralizzazione delle funzioni urbane e la capillarizzazione dei trasporti nutrono l'esigenza di sistemi di mobilità intelligenti e sostenibili. In particolare, l'utilizzo degli 'smart trams', il cui segmento si colloca tra i tram tradizionali e i mezzi di trasporto più avanzati dal punto di vista tecnologico, consentirebbe di bilanciare i costi di gestione mantenendo accessibili i servizi. Tale strategia è anche orientata, dunque, a mitigare i rischi associati alla 'povertà dei trasporti' (Durand et alii, 2022) e alla 'disuguaglianza digitale' (Groth, 2019), garantendo l'accesso universale alla mobilità urbana.

I principali limiti dello studio sono riconducibili allo stato della proposta progettuale sviluppata a livello teorico-concettuale, pur comprendendo diversi approfondimenti tecnici e specialistici al fine di renderla operativa. Per lo scopo, all'attività di verifica delle funzionalità degli 'smart trams', con annessa revisione del design per l'inserimento di moduli e componenti, farà seguito la fase ultima del progetto, ovvero quella di 'realizzazione' che consiste nella installazione e collaudo dei prototipi, messa in opera e programmazione della gestione dei servizi.

Conclusioni | Durante la prima fase progettuale, il percorso del Masterplan per la città di Gwangmyeong si è intrecciato con la presa di coscienza imposta al mondo dalla diffusione del Covid-19, rispetto alla quale il contesto coreano è stato tra le prime frontiere. Il Gruppo di Lavoro ha così attivato una serie di interrogativi su come un modello urbano di città di prossimità possa fornire risposte adeguate rispetto ai bisogni economici e sociali, in ottica di uno scenario (post)pandemico.

È necessario indirizzare la transizione energetica verso un modello concettuale improntato alla sostenibilità. Oltre ai temi legati all'innovazione tecnologica e al necessario sviluppo infrastrutturale esiste l'esigenza di un indispensabile mutamento culturale che, soprattutto nelle aree urbane, deve accompagnare questo processo, con l'adozione di soluzioni e sistemi alternativi quali la mobilità intelligente e il trasporto co-partecipato e multifunzione.

L'attuale strategia prevede un processo di rifondazione urbana in cui l'intero sistema di mobilità viene pensato come un laboratorio vivo e co-partecipato. Il caso studio qui descritto evidenzia la necessità di alimentare il confronto aperto e il dibattito scientifico sulle 'città del futuro'. Gli 'spazi fisici' contemporanei sono connotati da una grande complessità data dalla compresenza di numerose istanze: mobilità, scambio e aggregazione. La gestione di tale complessità richiede una pluralità di approcci multidisciplinari, metodi e soluzioni innovative per delineare le traiettorie di sviluppo di nuovi sistemi di connessioni urbane attraverso la sperimentazione di infrastrutture di mobilità intelligenti e sostenibili.

Commonly employed for urban planning strategies related to innovation – with particular reference to the potential offered by communication technologies – the locution 'smart city' relates the material infrastructure of cities with their virtual counterparts in the digital world by integrating, in a system approach, the human, intellectual and social capital of their inhabitants. Such an urban idea or vision aspires to respond to certain aspects of indefiniteness, which have emerged or amplified since the pandemic dissemination phase of Covid-19, and reflect in the fragmentation of contemporary cities, that is, in that 'broken world' characterised by deep systemic inequalities, economic and social dispar-

ities, unequal access to education, and inequitable or inadequate housing policies (Marcuse, 2003; Jackson, 2014; Mbembe, 2019).

The theme of 'smart cities' and their 'resili(g)ent' capacity (Gausa, 2019) seems, in these terms, to raise questions and possibilities about the layout of the future city or otherwise direct toward a-spatial or non-geometrically codifiable, models, accepting that the complex geometries of technological networks lend themselves to being grafted onto pre-existing urban models. The historical and modern city has developed mainly following the two major models of the grid and/or block city – based on the notion of 'surface' – and the linear city, which expresses the notion of 'line'. The current debate on the city's future associated with a 'smart city' reference to a spatial model seems absent. A question, therefore, arises about what kind of urban model should succeed those of the 'surface' and 'line' and embody the notion of the 'smart city'.

It also includes the possibilities related to 'smart urban road networks', the transportation networks of the smart city on which the qualities and characteristics of tangible and intangible infrastructure and devices act. Among the latter, in particular, 'autonomous smart vehicles' are a type of self-driving and remotely controlled means of locomotion based on IoT and big data, which allows for the detection and variation of the paths and characteristics of the routes of humans and things. The hybrid nature of these crossing different levels of the transitional so-called 'semi-public space' subverts the traditional divisions between private and public mobility and between pedestrian and vehicular paths, enabling the redefinition of the street / building relationship, and thus the urban planning model from an architectural perspective as well.

Solutions of this kind represent one of the challenges of the energy transition, which requires a new vision of mobility marked by innovative technologies with reduced pollutant emissions; this is

one of the indispensable building blocks on the path to a resource-efficient economy with continuously decreasing carbon production.

The complex characteristics of autonomous smart vehicles make it possible to think of them as small autonomous moving rooms, i.e., living spaces capable of performing collective and itinerant functions, and to assimilate them into foundational and primary elements of the city. Thus, a new model of 'smart mobility' is defined (Butler, Yigitcanlar and Paz, 2020; Durand et alii, 2022; Groth, 2019; Paiva et alii, 2021; Porru et alii, 2020) based on the concept of 'flexible space' understood as the integration of 'physical space' and 'digital space' (Ratti and Claudel, 2019; Scalisi, 2021).

In the process of conceptual inversion similar to Le Corbusier's gesture on buildings – who claimed to design and arrange first the furniture and then the walls – the smart city's pulpy galaxy of transportation elements could thus introduce a new model of 'city by points', as a set of 'bits', that is the foundation stone of the digital galaxy, where the points consist of the smart mobility devices themselves but also the first nodal spaces of interchange: semi-public spaces between the city of 'fixed rooms' and the city of 'mobile rooms' (Fig. 1).

In light of these considerations, the text presents the case study of the founding city of Gwangmyeong¹ in South Korea; specifically, by exploring the contents of the Masterplan², the contribution aims to recall some design strategies for the regeneration of the urban fabric in order to extrapolate new methodological lines aimed at finding a balance between instances of change in urban systems and today's needs for resilience, sustainability, transformation and use of collective spaces (UN General Assembly, 2015; UN General Assembly, 2017; Rockefeller Foundation and ARUP, 2015), according to the principles of multifunctionality, connectivity and transcalarity (European Commission, 2013).

The variable 'time' is assumed to be a critical element in 'smart city' design. In contrast, the concepts of 'chronourbanism'³ and '15-minute city' are assumed as to be viable models of sustainable planning of urban systems (Moreno et alii, 2021) in synergy with climate neutrality goals for 2050 (European Commission – Directorate-General for Research and Innovation, 2020).

The present contribution is within the thematic domain of 'design for environment, landscape and sustainable mobility': the solid multidisciplinary focus of the project, spanning several ERC fields, from social sciences and humanities (SH3_1, SH7_7, SH7_9) to physical sciences, information and engineering (PE5_6) highlights its potential impact on the International Scientific Community. In particular, the article emphasises the concept of 'innovability'⁴ while contributing to developing and testing urban planning strategies to redesign more attractive public spaces and smart and sustainable mobility infrastructure through building more aware

and participatory communities on the complex topic of smart mobility.

For this purpose, the paper first describes the design idea that identifies the 'smart city' as the centre of a new system of experimentation of urban connections, highlighting the study's aims and the methodological approach adopted. Next comes a 'hybrid' model of a city of proximity, illustrating the modular choices and contributions of the co-design process that led to the proposal of 'smart trams' conceived as itinerant living rooms; after highlighting the study's main limitations and barriers, we provide some concluding reflections.

Purpose of the study and methodological approach | The project idea aims to explore possible solutions to reduce urban fragmentation and inequality, that is, to recompose as tiles of a mosaic the elements of the 'broken world' by the paradigm of social sustainability (Fig. 2). The central role lies not with punctual interventions, but with an innovative widespread transport system. Applying software and hardware technologies aims to transform infrastructures and vehicles used for mobility into vital places designed to perform collective and itinerant functions. Through careful urban planning, these functions can reach and serve any city area,

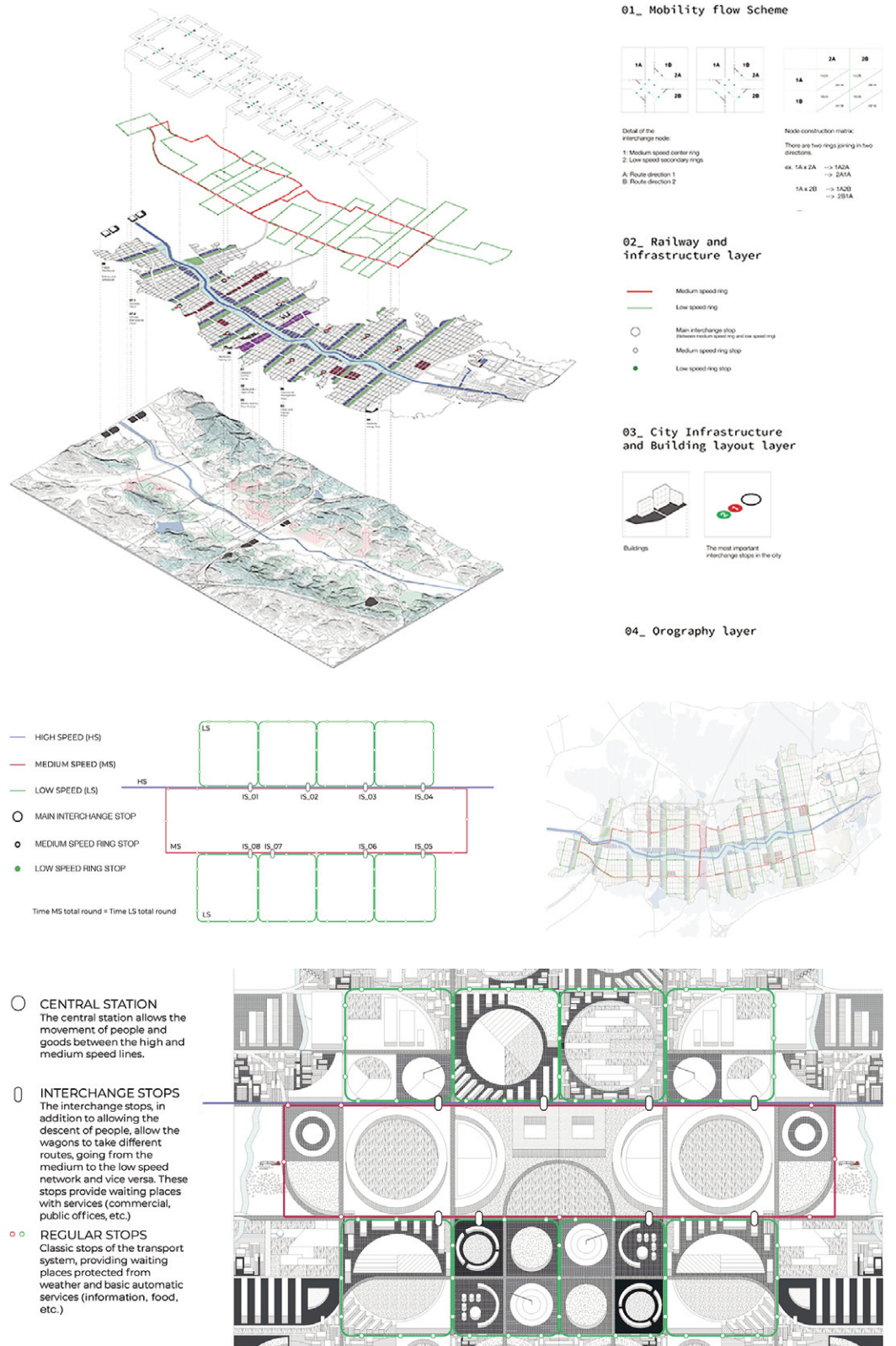


Fig. 8 | The Masterplan of Gwangmyeong City: mobility flows, transportation lines and infrastructure network, buildings and zoning, orographic map (credit: D. Bruno, 2022).

Fig. 9 | Transportation system Masterplan, Gwangmyeong City (credit: D. Bruno, 2022).

Fig. 10 | Location of stations and interchange stops, Gwangmyeong City (credit: D. Bruno, 2022).

thus transforming different neighbourhoods into an integrated and inclusive system. Infrastructure and transportation represent the city's social and economic connective tissue: physical and metaphorical integration vehicles.

The design of the city of the future draws inspiration from recent design experiences, which are still under construction and equally aimed at creating a sustainable urban environment based on innovation in transportation and infrastructure systems. The 'experimental city' of Woven City, Japan, conceived by Toyota⁵ and under construction, is based on an orthogonal grid of seventy hectares in extent and is traversed by futuristic autonomous vehicles travelling at different speeds, providing a plurality of services to users (Fig. 3). Gwangmyeong's project adopts the same technology; however, unlike Woven City, it is not aimed at creating vehicles with futuristic and innovative forms, but refers back to a new conception of a means of transportation with ancient charm and yet still relevant in reality, which has spanned nearly two centuries of urban history without undergoing too many transformations: the tram (Fig. 4).

Gwangmyeong's urban mobility system, specifically, is thus based on 'smart trams' as intelligent vehicles. Their heavy-duty structure, similar to traditional trams derived from trains, makes it possible to implement vehicles with architectural and functional additions and transform them into mobile rooms (for different uses) or logistics carriers (e.g.

goods distribution or urban waste collection). This 'hybrid nature' allows carriers to move on multiple transition levels, enabling them to redefine the road / building relationship and the traditional architecture / infrastructure divide.

'Smart trams' and the interchange nodes of the infrastructure network define a 'transitive' urban place of mobile rooms, which stand about the 'fixed city', as a second foundation stone of the city, mobile in time and space. Their atopic nature and systemic properties, typical of 'industrial design' and 'service design' products, predispose them to be swiftly updated and renewed over time in case of functional obsolescence.

In order to implement such an ambitious project, the involvement of the entire multidisciplinary working group proved essential, promoting a constructive approach aimed at facilitating an exchange of opinions, methods and good practices to enhance the outcomes of dialogue and confrontation. Involvement initiatives, workshops and seminar cycles start to prevent the risks of rigid and non-inclusive project management and to activate collaborative and participative paths in the different thematic areas involved (architecture, landscape, and transportation) to generate shared value. Such an approach yields benefits that benefit the city government by strengthening its ability to pursue strategic goals and stakeholders by providing answers to their needs and expectations.

The methodological approach adopted stipu-

lated that the project would be developed in three phases ('understanding', 'defining', and 'materialising'), each subdivided into sub-phases of activities, configuring an interactive process conducted in parallel, with intermediate moments of mutual integration of the parts and evaluation of the partial results achieved in order to determine the impact of any criticalities concerning the objectives set ex-ante (Fig. 5). Such a methodological approach is not common in the South Korean context, where the development of the different project areas while ensuring the necessary technical and scientific coherence, often proceeds on relatively independent tracks.

The 'understanding' phase drew from reflections and field experiences in European cities selected as reference models, namely Milan, Madrid and Barcelona, and from an in-depth analysis of mobility strategies in established urban contexts of similar sizes, such as Strasbourg (France), Bergen (Norway) and Nottingham (England). Direct experience and processing of data acquired during the exploratory 'understanding' phase directed the design choices toward the 'trackless tram' system developed in the 'definition' phase, believing that this represented the most suitable mobility option for the urban context of Gwangmyeong. The most prevalent means of public transportation in Seoul are the subway (23 lines, including suburban lines) and bus lines; however, it is worth mentioning that a tram service operated from 1899 to 1968.

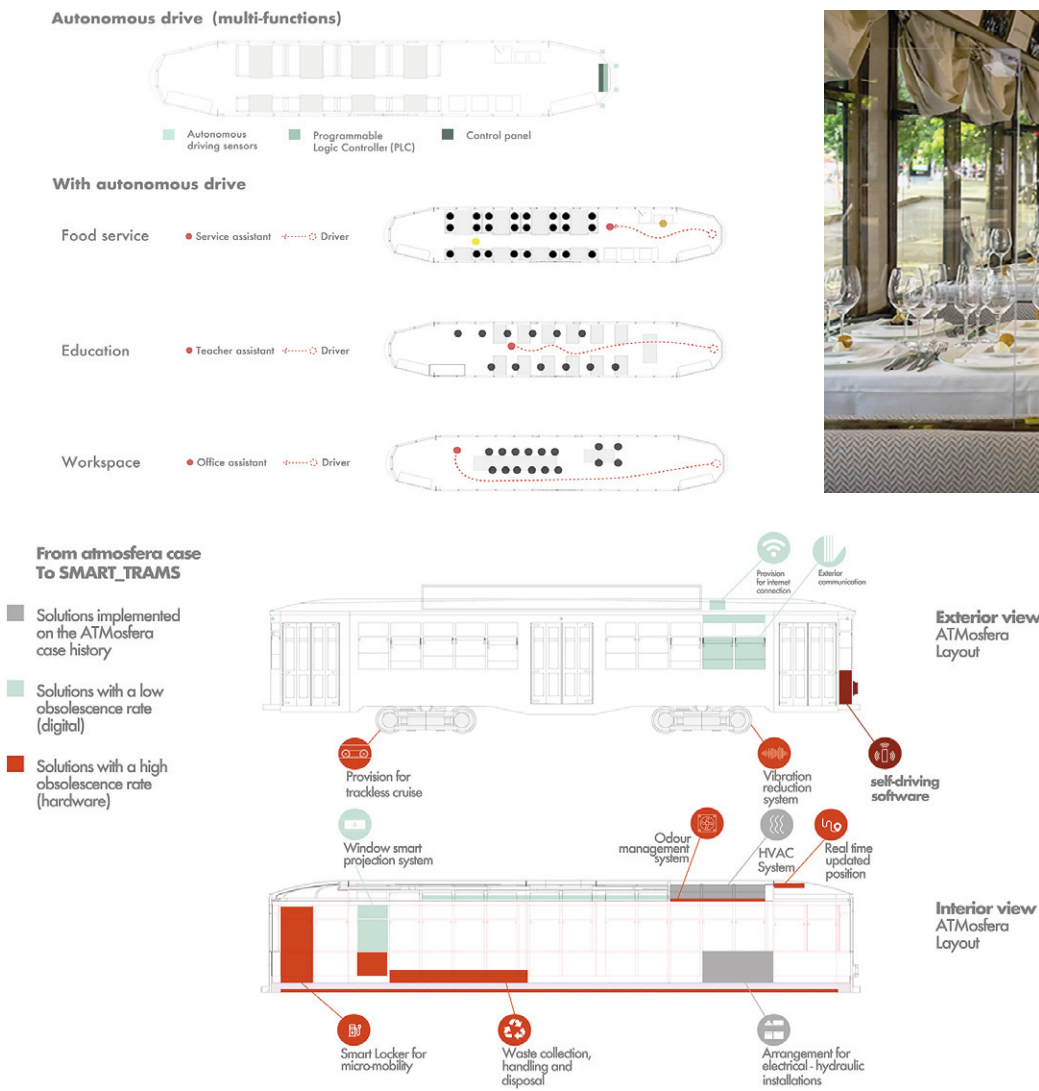


Fig. 11 | Model of multifunctional self-driving 'smart tram' (credit: D. Bruno, 2024).

Fig. 12 | ATMosfera tram, Milan Transport Company, Milan (credit: Jacopo Maletti, 2024).

Fig. 13 | 'Smart' evolution of the ATMosphere model (credit: D. Bruno, 2024).

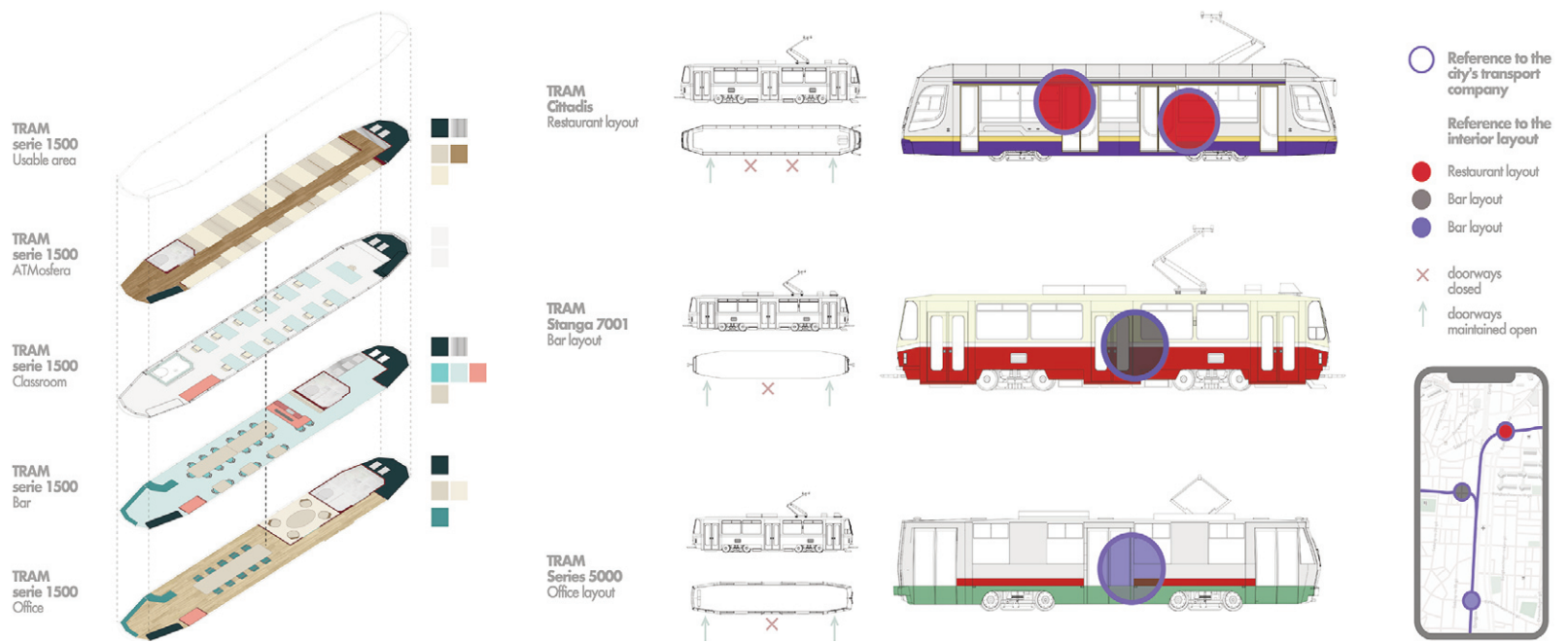


Fig. 14, 15 | Multifunctional modular system of the '1500 serie' tram model; Smart streetcars: prototype hypothesis of 'mobile rooms' and digital services (credits: D. Bruno, 2024).

The proximity city model | New proposals for a sustainable urban model based on the enhancement of proximity relations are already a topic of interest in the scientific community and the subject of experimentation and pilot tests even before the restrictions imposed by national governments to counter the effects of the Covid-19 pandemic, have recently received adequate attention and visibility in relevant scientific journals (Alberti and Radicchi, 2022). In concert with the Agenda for a Green and Just Recovery of the member cities of the C40 – Cities Climate Leadership Group network, the most widely adopted declination of this new urban model is the '15-minute city' «[...] whereby all city residents are able to meet most of their needs within a short walk or bicycle ride from their homes» (C40, 2020, p. 30), i.e., a 'polycentric' model of cities, which promotes social intensity by nurturing the presence of articulated productive links.

As recently pointed out by Alberti and Radicchi (2022), the basic principles from which this approach finds inspiration do not represent novel concepts in the landscape of urban planning and related disciplines: to mention a few examples, one need only think of the Neighbourhood Unit, introduced by Clarence Perry in 1929, Walter Christaller's theory of central locations (1933), the proxemics studies of Edward T. Hall (1966) applied to the reading of urban spaces, to the research on the human scale initiated by Jan Gehl as early as the 1970s, to the principle of 'transit-oriented development' (Calthorpe, 1993) from which the '20-minute-neighbourhood' is descended.

The temporal unit of measurement on which the proximity city model rests is thus not unique but is open to different scenarios of possibilities: a recent example is Project H1 by UNStudio⁶, which will transform an industrial site and a railway depot in Seoul into a multifunctional and diverse urban space, ensuring that all essential services are within a maximum '10-minute' walk (Fig. 6).

The scholarly debate on repurposing an urban system model that can adapt to the new sustain-

ability and social inclusion challenges due to the Covid-19 pandemic is still open. It is important to note that simplifying the complexity of a wide-ranging urban regeneration strategy into a single unit of time measurement could be misleading. The ultimate goal of such strategies is to overcome the existing gap, even within the same urban reality, between central and peripheral areas from the point of view of infrastructural endowments, services, employment opportunities, and the quality and care of public space (Alberti and Berni, 2020).

Although, therefore, according to a given school of thought, the '15-minute city' emerges as an innovative and ambitious urban planning paradigm that promotes the creation of more sustainable, inclusive and citizen-oriented cities, the city model proposed for Gwangmyeong partly differs from it, presenting elements of uniqueness and originality. Specifically, unlike the decentralisation of functions in the '15-minute city', the project envisions that urban services considered most important (educational, cultural, religious, and commercial facilities) will be centralised and clustered in specific areas serving the entire city (Fig. 7).

Thus, public transportation is not merely a mobility system for reaching these facilities and/or activities but also provides additional utility services. As an example, schools in Gwangmyeong will consist of central buildings / places capable of housing classrooms, laboratories, auditoriums, libraries, gyms, and cafeterias, but, at the same time, 'smart trams' will serve as travelling study rooms for pre or post-school activities. The tram service circuit will serve the entire city area, connecting all its neighbourhoods: transportation time will no longer be considered 'wasted time' but 'useful time' that people can invest intelligently by moving from one place to another in the city. The model thus conceived fosters integration among the different components of the urban community to make transportation infrastructure and spaces of interrelation, not mere places of transit.

The sustainable mobility Masterplan | Cities rep-

resent the most suitable places for 'assessing' the adaptive capacity of urban systems in the face of the effects of climate change and social transformation (Kane and Shogren, 2000). The urban environment presents itself as a singular scenario through which to observe and analyse the needs and desires of contemporary society. In recent times, the design of public spaces and infrastructures pays greater attention to the integration between the urban environment and sustainable mobility, including the provision and management of proximity services (Fabbri, 2023), promoting regeneration processes based on the activation of new social functions ascribable to the city.

Through the case study of Gwangmyeong, which adopts the idea of 'module' and 'line' as design tools (Sposito and Scalisi, 2023), we aim to offer a contemporary look at the opportunities of sustainable mobility as a strategic multifunctional model for facilitating the complex dynamics of urban life, primarily on the issue of collective transportation.

Specifically, the Masterplan envisions a linear layout of the new city in blocks, running north-south along the Han River (in the southern area of Seoul), and identifies three different types of infrastructure for three travel durations depending on the number of stops planned along the route: the high-speed (HS) transport line-characterised by a few stops-connects the city to national arteries and international hubs; the HS line, in turn, is connected to a medium-speed (MS) transport loop, which runs through the city centre and provides a route for the rapid movement of people and goods; and finally, at selected points, the MS loop intercepts the low-speed (LS) transport loop, which articulated into several secondary loops for the widespread transfer of people and goods to different parts of the city. The LS loop is, in turn, connected to a 'last-mile' individual transportation system, which provides public and semi-public services and leads to housing. The location of stops and interchange stations will optimise the network's efficiency and enhance the urban system's nerve centres (Fig. 8-10).

Smart trams, moving rooms, and living spaces

| The design concept identifies the transportation medium as a modular set of moving rooms capable of performing collective functions (coworking environments, telephone booths, and travelling commercial spaces, to name a few examples). Within them, the number of moving rooms used for such purposes can vary flexibly according to the community's needs. The operation of transportation is thus 'reprogrammed' in a new logic of accessibility of urban places, focusing on the needs of travelling users.

The case study of Gwangmyeong shows the high potential of computerisation of urban transportation management processes that only sometimes match a convincing social, economic, political and cultural context due to its partial and inefficient application of ICT. The concept of 'smart trams' adopts the technology of trackless tram systems (Newman et alii, 2019); 'smart trams' are self-driving and remotely controlled vehicles that enable different routes depending on population, goods and services. The autonomous driving system is based on sensor technology perception platforms to improve road safety, while technical equipment will apply to the tram and the vehicle's exterior. Railless trams can cross pedestrian and vehicular paths at different speeds and travel characteristics, thus transforming infrastructure from transitional spaces to liveable spaces: the shape and size of spaces can adapt to the characteristics of the context, new or existing (Fig. 11).

Gwangmyeong's 'smart tram' project is not without precedent since several case studies exist in the literature. These include the Korean Mini-tram, a vehicle to use in places where short waiting intervals must occur between the arrival of one train and the next and where passengers are heading to multiple destinations; the SMrTram, a 'horizontal elevator' intended to quickly connect different parts of the city from which passengers can walk to services. The state-of-the-art study also looked at examples that adopt more traditional technologies but provide alternative uses to passenger transport, such as freight trams (Dresden and Zurich) or Milan's ATMosfera⁷ (Fig. 12).

A prototype 'smart tram' (Fig. 13) is currently being studied by the authors on order from a European company. Sustainability has been the behavioural paradigm in the various design phases, blending the challenging component of design, more related to technology, morphology, and materials, and the soft component of relationships, sharing, and social innovation (Fagnoni and Olivastri, 2019). The modular logic that guided the product design facilitated production and future maintenance and made it possible to design context-specific solutions, albeit employing the same basic structure (Fig. 14).

After defining the framework of demand and the services to include in the mobile rooms, we started the overall design of the prototype and how the components would be incorporated; each 'smart tram' is specifically designed to last a long time in the urban environment and ensure easy maintenance, thanks to the possibility of sub-assembly replacement of equipment. At the same time, the place and urban context analysis phase was initiated by identifying potential stops, i.e., points of convergence of higher intensity of pedestrian and bicycle flows and significant buildings open to the

public without yet a clear functional identity but with aggregation potential to be enhanced (Fig. 15).

Discussion on limitations, barriers and future development of the project proposal

| This paper aims to stimulate reflection on the role of design in proposing innovative solutions for developing contemporary cities and societies (Bruno and Crivellaro, 2018; Trisciuglio, 2021). In referring to the concept of a 'broken world', it was pointed out that the fragmentation of the urban system into socially and economically distinct areas is a problem that plagues several world realities. The design effort does not turn out to be solely technical / diagrammatic typical of a 'smart city', nor merely formal / morphological in line with more traditional models of cities at 'urban scale'; on the contrary, contemplating both aspects the idea of the city of the future yearns for a dual symbiosis, highlighting a 'humanistic' vision of technology (Bruno, 2009), in which architecture, infrastructure and digital tools can assimilate to generate an alternative of innovation to the consolidated urban environment (Mattern, 2021).

Compared to similar conceptual models and/or design proposals, the Gwangmyeong case study shows unique and original aspects and aspires to overcome some limitations and barriers inherent in previous solutions. Specifically, in the '15-minute city' concept, transportation is by choice limited as primary services are decentralised and within easy walking distance. However, decentralising implies isolating individual neighbourhoods by exacerbating the condition of urban fragmentation; the Woven City project promotes the creation of centralised spaces that facilitate integration, although its layout is challenging to apply in pre-existing urban contexts.

Gwangmyeong's design proposal, for its part, favours interconnectedness rather than isolation and can be implemented in new urban contexts at various scales. It shows some parametric flexibility, that is, possibilities for adapting the design to different dimensional configurations. A barrier, however, is the proposed conceptual model's difficult replicability and transferability in preexisting urban contexts. The centralisation of urban functions and the capillarisation of transportation feed the need for intelligent and sustainable mobility systems. In particular, the use of 'smart streetcars', the segment between traditional streetcars and more technologically advanced means of transportation, would balance operating costs while keeping services affordable. Therefore, this strategy also mitigates the risks associated with 'transportation poverty' (Durand et alii, 2022) and 'digital inequality' (Groth, 2019) by ensuring universal access to urban mobility.

The study's main limitations are due to the state of the design proposal developed at a theoretical-conceptual level. However, it includes several technical and specialised insights to make it operational. For this purpose, the activity of verifying the functionality of the 'smart streetcars', with annexed design review for the insertion of modules and components, will be followed by the final phase of the project, i.e., the 'realisation' phase, which consists of the installation and testing of the prototypes, deployment and scheduling of service management.

Conclusions | During the first design phase, the path of the Masterplan for the city of Gwangm-

yeong intertwined with the awareness imposed on the world by the spread of Covid-19, of which the Korean context was among the first frontiers. The Working Group thus activated a series of questions about how an urban proximity city model can provide adequate responses concerning economic and social needs, with a view to a (post) pandemic scenario.

We draw attention to the need to direct the energy transition toward a conceptual model marked by sustainability. In addition to issues related to technological innovation and necessary infrastructural development, there is a need for a necessary cultural change. This process must accompany adopting alternative solutions and systems such as smart mobility, co-participating and multifunctional transportation, especially in urban areas. The current strategy envisions an urban foundation process in which the entire mobility system becomes a living, co-participatory laboratory. The case study described here highlights the need to nurture open discussion and scholarly debate on 'cities of the future'. Contemporary 'physical spaces' are connoted by a remarkable complexity given by the co-presence of numerous instances: mobility, exchange and aggregation. The management of such complexity requires a plurality of multidisciplinary approaches, methods and innovative solutions to outline the trajectories of the development of new systems of urban connections through the experimentation of intelligent and sustainable mobility infrastructures.

Acknowledgements

The Authors would like to thank the Members of ATEC Architectural Firm and its General Manager, Sang Gil Kim, who supervised and coordinated the Masterplan for Gwangmyeong. Special thanks to the International Group of Experts and Professionals assigned to the different thematic areas of the Masterplan for their passion and enthusiasm with which they actively participated and collaborated in implementing the project. The Authors of this paper participated in the project activities within the Operational Unit of the Politecnico di Milano, coordinated by Prof. D. Bruno, on the specific topics of 'mobility system and infrastructure design'. Specifically, S. Palmieri, M. Bisson and R. Palomba dealt with environmental design focused on the design processes of smart, flexible and environmentally friendly environments, while F. D'Alessandro dealt with environmental sustainability assessment and multivariate analysis of impact factors.

Notes

1) The 'new city' of Gwangmyeong will extend into the area south of Seoul and is planned to accommodate about 300,000 inhabitants; the term 'new city' is currently used in South Korea to refer to the expansion of an existing city, specifically the creation of a new neighbourhood.

2) The Gwangmyeong Union of Land Owners commissioned the development of the Masterplan from an internationally prominent Working Group with multidisciplinary characteristics coordinated by Sang Gil Kim, CEO of ATEC Architects (Seoul). Specifically, the Masterplan contemplates seven conceptual areas: industry, education, welfare and community, energy/waste/waste disposal systems, traffic and mobility, culture, and sports.

3) The concept of 'chronourbanism' is considered a viable model in modern cities to address urban challenges; it promotes better proximity, social interaction captured by the dimension of 'density', digitisation and diversity, and pillars leading to more tightly woven community fabrics. It would be facilitated mainly by the increasing technological advances that have given rise to sustainable and innovative urban planning models, such as those attributable to the 'smart city'.

4) Innovability[®] is a neologism derived from the syncretism of the terms 'innovation' and 'sustainability', an expression of essential requirements for design consistent with the international guidelines of the UN Agenda for Sustainable Development 2030 (UN General Assembly, 2015) and traceable to the expectations of the most recent national research programs, such as from the National Recovery and Resilience Plan – PNRR (MIMIT, 2023), for the realisation of equitable and inclusive environments, goods, and services.

5) For more information on Toyota Woven City, see the webpage: woven-city.global/ [Accessed 10 February 2024].

6) UNStudio is a Dutch architectural firm specialising in urban development and 'infrastructure' projects. The firm was founded in 1988 by Ben van Berkel and Caroline Bos. For more information, see the webpage unstudio.com/ [Accessed February 10, 2024].

7) ATMosfera is a tram restaurant conceived and developed by Prof. D. Bruno at the turn of the last century. The project involved the study of an organised catering and sightseeing service of the City of Milan on board the 1926 'trolley' tram. For the design, we considered several inputs, such as ATM's values, the peculiar characteristics of Milan since the 1920s (the years of tram production) and the target audience. More than a tram or a restaurant, ATMosfera is a service, a story told and experienced, and composed of synaesthesia: travel, cuisine, sounds, and culture.

References

Alberti, F. and Berni, F. (2020), "Fra strategie e tattiche – L'interazione fra soggetti pubblici e cittadinanza attiva nei processi di rigenerazione urbana", in *Ananke | Quadrimestrale di Cultura, Storia e Tecniche della Conservazione per il Progetto*, vol. 91, pp. 125-128. [Online] Available at: al-

tralineaedizioni.it/portfolio-item/6228/2/ [Accessed 10 March 2024].

Alberti, F. and Radicchi, A. (2022), "The Proximity City – A comparative analysis between Paris, Barcelona and Milan", in *Techne | Journal of Technology for Architecture and Environment*, vol. 23, pp. 69-77. [Online] Available at: doi.org/10.36253/techne-12151 [Accessed 10 March 2024].

Bruno, D. (2009), *Questione di Metodo – Analisi, Sintesi, Teorie, Esempi Sulla Metodologia Progettuale*, Aracne, Roma.

Bruno, D. and Crivellaro, G. (2018), *Sharing Design Sustainable – Innovazione sociale – Il flusso dei mezzi di trasporto sostenibile nelle aree metropolitane del futuro*, McGraw Hill, Milano.

Butler, L., Yigitcanlar, T. and Paz, A. (2020), "Smart Urban Mobility Innovations – A Comprehensive Review and Evaluation", in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 196034-196049. [Online] Available at: doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3034596 [Accessed 10 March 2024].

C40 (2020), *C40 Mayors' Agenda for Green and Just Recovery*. [Online] Available at: preparecenter.org/wp-content/uploads/2020/10/C40-Cities-2020-Mayors-Agenda-for-a-Green-and-Just-Recovery.pdf [Accessed 10 March 2024].

Calthorpe, P. (1993), *The Next American Metropolis – Ecology, community, and the American dream*, Princeton Architectural Press, New York.

Durand, A., Zijlstra, T. van Oort, N., Hoogendoorn-Lanser, S. and Hoogendoorn, S. (2022), "Access denied? Digital inequality in transport services", in *Transport Reviews*, vol. 42, issue 1, pp. 32-57. [Online] Available at: doi.org/10.1080/01441647.2021.1923584 [Accessed 10 March 2024].

European Commission (2013), *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – Green Infrastructure (GI) – Enhancing Europe's Natural Capital*, document 52013DC0249, 249 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52013DC0249 [Accessed 10 March 2024].

European Commission – Directorate-General for Research and Innovation (2020), *100 Climate-Neutral Cities by 2030 – By and for the Citizens – Report of the Mission Board for Climate-Neutral and Smart Cities*. [Online] Available at: data.europa.eu/doi/10.2777/46063 [Accessed 10 March 2024].

Fagnoni, R. and Olivastri, C. (2019), "Hardsign vs Soft-design", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 5, pp. 145-152. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/5162019 [Accessed 10 March 2024].

Gausa, M. (2019), "Resili(g)ence – Città Intelligenti / Paesaggi Resilienti | Resili(g)ence – Smart Cities / Resilient Landscape", in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 6, pp. 14-25. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/622019 [Accessed 10 March 2024].

Groth, S. (2019), "Multimodal divide – Reproduction of transport poverty in smart mobility trends", in *Transportation Research Part A – Policy and Practice*, vol. 125, pp. 56-71. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.tra.2019.04.018 [Accessed 10 March 2024].

Fabbi, I. (2023), "Smart Hubs – Una rete di oggetti urbani multifunzionali a supporto della micromobilità a Ferrara | Smart Hubs – A network of multifunctional urban objects to support micromobility in Ferrara", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 14, pp. 304-315. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/14262023 [Accessed 10 March 2024].

Jackson, S. J. (2014), "11 – Rethinking Repair", in Gillespie, T., Boczkowski, P. J. and Foot, K. A. (eds), *Media Technologies – Essays on Communication, Materiality, and Society*, MIT Press, Cambridge (MA), pp. 221-239. [Online] Available at: doi.org/10.7551/mitpress/9042.003.0015 [Accessed 10 March 2024].

Kane, S. and Shogren, J. F. (2000), "Linking Adaptation

and Mitigation in Climate Change Policy", in Kane, S. M. and Yohe, G. W. (eds), *Societal Adaptation to Climate Variability and Change*, Springer, Dordrecht, pp. 75-102. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-94-017-3010-5_6 [Accessed 10 March 2024].

Marcuse, P. (2003), "Cities in Quarters", in Bridge, G. and Watson, S. (eds), *A Companion to the City*, Blackwell, pp. 270-281. [Online] Available at: doi.org/10.1002/9780470693414.ch23 [Accessed 10 March 2024].

Mattern, S. (2021), *A City Is Not a Computer – Other Urban Intelligences*, Princeton University Press, Princeton.

Mbembe, A. (2019), *Necropolitics – Theory in Forms*, Duke University Press, Durham (NC).

MIMIT – Ministero delle Imprese e del Made in Italy (2023), *Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza*. [Online] Available at: mimit.gov.it/images/stories/documenti/PN-RR_Aggiornato.pdf [Accessed 10 March 2024].

Moreno, C., Allam, Z., Chabaud, D., Gall, C. and Pralong, F. (2021), "Introducing the 15-Minute City in Sustainability, Resilience and Place Identity in Future Post-Pandemic Cities", in *Smart Cities*, vol. 14, issue 1, pp. 93-111. [Online] Available at: doi.org/10.3390/smartcities4010006 [Accessed 10 March 2024].

Newman, P., Hargroves, K., Davies-Slate, S., Conley, D., Verschuer, M., Mouritz, M. and Yangka, D. (2019), "The Trackless Tram – Is It the Transit and City Shaping Catalyst We Have Been Waiting for?", in *Journal of Transportation Technologies*, vol. 9, issue 1, pp. 31-55. [Online] Available at: doi.org/10.4236/jtts.2019.91003 [Accessed 10 March 2024].

Paiva, S., Ahad, M. A., Tripathi, G., Feroz, N. and Casalino, G. (2021), "Enabling Technologies for Urban Smart Mobility – Recent Trends, Opportunities and Challenges", in *Sensors*, vol. 21, issue 6, article 2143, pp. 1-41. [Online] Available at: doi.org/10.3390/s21062143 [Accessed 10 March 2024].

Porru, S., Misso, F. E., Pani, F. E. and Repetto, C. (2020), "Smart mobility and public transport – Opportunities and challenges in rural and urban areas", in *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, vol. 7, issue 1, pp. 88-97. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jtte.2019.10.002 [Accessed 10 March 2024].

Ratti, C. and Claudel, M. (2019), "SENSEable CITY", in Del Signore, M. and Riether, G., *Urban Machines – Public Space in a Digital Culture*, LISTLab, Trento and Barcelona, pp. 208-213. [Online] Available at: senseable.mit.edu/papers/pdf/20190316_Ratti-Claudel_Senseable_City_UrbanMachines.pdf [Accessed 10 March 2024].

Rockefeller Foundation and ARUP (2015), *City Resilience Index*. [Online] Available at: rockefellerfoundation.org/wp-content/uploads/CRI-Revised-Booklet1.pdf [Accessed 10 March 2024].

Scalisi, F. (2021), "Connettere persone, luoghi e cose | Connecting people, places and things", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 10, pp. 2-11. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1002021 [Accessed 10 March 2024].

Sposito, C. and Scalisi, F. (2023), "Modulo e modularità – Declinazioni e scale applicative nella contemporaneità | Module and modularity – Variations and application scales in contemporary times", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 14, pp. 2-11. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1402023 [Accessed 10 March 2024].

Trisciuglio, M. (2021), "Diy-City e internet of things – Un'ipotesi di ricerca intorno alla progettazione urbana interattiva | Diy-City and internet of things – A research hypothesis around interactive urban design", in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 10, pp. 46-55. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1042021 [Accessed 10 March 2024].

UN General Assembly (2017), *New Urban Agenda*. [Online] Available at: habitat3.org/wp-content/uploads/NUA-English.pdf [Accessed 10 March 2024].

UN General Assembly (2015), *Transforming our world – The 2030 Agenda for Sustainable Development*. [Online] Available at: refworld.org/docid/57b6e3e44.html [Accessed 10 March 2024].

ARTICLE INFO

Received	18 March 2024
Revised	15 April 2024
Accepted	21 April 2024
Published	30 June 2024

DISTRETTI ENERGETICI COLLABORATIVI

Laboratori urbani per un'energia di prossimità

COLLABORATIVE ENERGY DISTRICTS

Urban workshops for proximity energy

Davide Crippa, Barbara Di Prete, Raffaella Fagnoni,
Carmelo Leonardi

ABSTRACT

Le istanze relative alla sostenibilità energetica sono ormai diventate prioritarie e le politiche istituzionali stanno incentivando modelli di produzione energetica alternativi a quelli consolidati, mentre le città, dove si consumano più del 65% delle risorse mondiali, risultano strategiche. In tale quadro il saggio analizza alcuni laboratori urbani sperimentali, potenziali incubatori di politiche di innovazione per la transizione energetica; si tratta di distretti pionieri della neutralità climatica che investono su processi inclusivi, mercati energetici locali e sulla cittadinanza attiva, promuovendo comportamenti energetici consapevoli e virtuosi. Tali progetti perseguono una maggiore responsabilizzazione dei singoli e assumono i concetti di 'comunità' e di 'prossimità' come una prospettiva strategica.

Demands for energy sustainability have become a priority, and institutional policies are incentivising alternative energy production models over established ones. Cities consume over 65% of the world's resources and are strategic. Within this framework, the essay analyses some experimental urban laboratories and potential incubators of innovative policies for energy transition; these are climate-neutral pioneer districts investing in inclusive processes, local energy markets, and active citizenship, promoting conscious and virtuous energy behaviour. These projects pursue a greater empowerment of individuals and take the concepts of 'community' and 'proximity' as a strategic perspective.

KEYWORDS

laboratori urbani, design per la transizione sostenibile, comunità energetica, prossimità energetica, co-progettare consapevolezza

urban workshops, design for sustainable transition, energy community, energy proximity, co-designing awareness

Davide Crippa, Architect and PhD, is a Researcher at the Department of Design Cultures, 'Iuav' University of Venice (Italy). He conducts research activities mainly in design and digital fabrication with a view to sustainability and circular economy, coordinating national and international projects on waste recycling. E-mail: dcrippa@iuav.it

Barbara Di Prete, Architect and PhD, is an Associate Professor at the Department of Design, Politecnico di Milano (Italy). She carries out research activities mainly in the spatial field between exhibition and interior design, investigating the instances of sustainability at an energetic, environmental and social level. E-mail: barbara.diprete@polimi.it

Raffaella Fagnoni, a Full Professor of Design at the 'Iuav' University of Venice (Italy), is the Coordinator of the Doctorate in Design Sciences programme. She studies and experiments on design themes for sustainable transition and territorial circular innovation, design for the territory and local cultural heritage, environmental design and social innovation, recycling and reuse of waste and refuse. E-mail: rfagnoni@iuav.it

Carmelo Leonardi, Product Designer, is a PhD Candidate in Design Sciences at the 'Iuav' University of Venice (Italy). In the context of his PhD course, he investigates the themes of energy transition, simultaneously exploring the new design paradigms and the concepts of social and environmental sustainability in the design field. E-mail: cleonardi@iuav.it



Il trend di incremento demografico che ha caratterizzato gli ultimi secoli – facendo passare la popolazione mondiale da un miliardo di persone nel 1800 agli attuali 8 miliardi – non è destinato ad arrestarsi e, se le stime saranno confermate, entro il 2050 più del 70% della popolazione vivrà nelle città¹. Questo incremento demografico causerà un ulteriore, costante aumento della quantità di ‘energia primaria’ pro capite necessaria allo svolgimento delle attività quotidiane² e la domanda energetica urbana aumenterà dunque esponenzialmente. Tale analisi si innesta su un quadro che già non si presenta ottimistico: si consideri, infatti, che attualmente le aree urbane consumano più del 65% delle risorse energetiche mondiali, producendo oltre il 70% di emissioni di CO₂³. A fronte di queste stime, le città emergono come il luogo cruciale dove si giocherà la sfida della sostenibilità; non a caso anche gli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (SDG) delle Nazioni Unite (UN, 2015) hanno posto il tema urbano, climatico ed energetico al centro dell’attenzione politico-istituzionale (cfr. SDG 7, 11, 12 e 13).

L’incremento dell’impronta antropica ha già indotto molte città a intraprendere politiche mirate a favorire uno sviluppo sostenibile (D’Amico et alii, 2021); il saggio intende analizzare le iniziative promosse da due città-laboratorio che stanno sperimentando progetti collaborativi di prossimità: Hannover e Amsterdam, con le loro reti energetiche sociali ed ecologiche locali, schiudono scenari promettenti a cui anche altre città europee possono guardare, in particolare in Italia, dove manca un impianto legislativo chiaro che normi il libero scambio su base off-grid.

L’innovazione di modello presentata propone un cambiamento di paradigma produttivo, commerciale, distributivo, ma anche concettuale, che potrebbe rivoluzionare il significato stesso di transizione energetica e le relative politiche di settore, indirizzandole verso scenari più democratici e inclusivi. A fronte di tali obiettivi il contributo si articola in un primo paragrafo di inquadramento scientifico, un corpo centrale dedicato ai casi studio di riferimento, una lettura critico-interpretativa volta a sottolinearne gli aspetti innovativi e un paragrafo conclusivo con le prospettive di azione e di riflessione disciplinare.

Inquadramento scientifico: la rivoluzione delle fonti rinnovabili tra criticità e impatti | Nell’ambito del Green Deal (European Commission, 2019), la Commissione europea ha reso più ambiziosi gli obiettivi climatici per il 2030, portando il target di riduzione netta delle emissioni di gas serra a -55% rispetto al 1990 e ha reso vincolante la neutralità climatica al 2050. A tal fine la Commissione ha formulato un pacchetto di proposte legislative (European Commission, 2021) che agiscono su una molteplicità di dimensioni, riferibili a tre principali driver di azione per la gestione energetica delle città: 1) politiche di incentivo alla mobilità sostenibile; 2) politiche di incremento delle fonti di energia rinnovabili; 3) politiche di tutela delle risorse ambientali.

In particolare il passaggio da fonti fossili esauribili a fonti rinnovabili potenzialmente inesauribili costituisce un’occasione strategica per lo sviluppo sostenibile; tuttavia è importante anche valutare le problematiche legate alle infrastrutture necessarie per generarle e trasportarle. La prima cri-

ticità da considerare è di tipo ambientale (impatto paesaggistico e climatico); tali impianti, infatti, per estensione e per tipologia possono influenzare l’ecosistema circostante. La stessa modifica dell’albedo dei tetti per l’installazione di moduli fotovoltaici può avere un impatto sul riscaldamento urbano (Centeno Brito, 2020) e sul microclima locale.

Parimenti anche l’impatto estetico e acustico degli impianti eolici non è da trascurare (Deshmukh et alii, 2019), così come quello olfattivo determinato dalla produzione di biogas rinnovabile (Loughrin et alii, 2022): «[...] per far sì che la transizione verso fonti energetiche più sostenibili abbia successo è necessario valutarle [anche] in funzione delle loro caratteristiche soggettive, ovvero correlate agli aspetti emotivi-psicologici e alle aspettative delle persone che ne fruiscono» (Leonardi et alii, 2023, pp. 55, 56).

I progetti pilota di Hannover e Amsterdam come laboratori urbani per la transizione energetica

Se da un lato si assiste alla proliferazione di scenari speculativi (Dunne and Raby, 2013), dall’altro si stanno affermando sperimentazioni sul campo sempre più promettenti. In quest’ottica Hannover e Amsterdam sono considerate città virtuose, delle sorte di incubatori di politiche di innovazione per la transizione energetica che scardinano i modelli di produzione e consumo energetico più diffusi, prevalenti ad esempio nel contesto italiano. La loro analisi è stata condotta tra letteratura di riferimento (prevalentemente riferibile agli ultimi cinque anni, di respiro internazionale e orientata sia alle discipline progettuali che alle scienze sociali), interviste agli abitanti e ai promotori dei progetti (interviste di tipo qualitativo sulle potenzialità e sulle criticità delle iniziative condotte) e osservazioni sul campo (ad Hannover il 28 novembre 2023 e ad Amsterdam il 29 novembre 2023).

I due casi sono stati scelti in quanto precursori di modelli sperimentali di distretti energetici oggi replicabili e trasferibili anche in altri contesti urbani, poiché la sensibilità comune diffusa, l’opportunità politica e la necessità economica sembrano ormai convergere nella medesima direzione. Lo stesso concetto di Positive Energy District, su cui il nuovo Piano di ricerca e innovazione Horizon Europe 2021-2027 sta investendo (Gollner et alii, 2020), costituisce l’orizzonte a cui tendere e la sfida sociale e progettuale da accogliere.

Il quartiere Kronsberg di Hannover, in Germania, nonostante l’origine ormai datata presenta un carattere avanguardistico. Le sue Reti Energetiche Sociali (Gausa, 2020) si presentano, infatti, come uno strumento efficace di coinvolgimento dei cittadini, che partecipano attivamente agli scambi energetici locali e contribuiscono direttamente alla produzione di energia rinnovabile. Dall’incontro con i docenti della Leibniz University emerge chiaramente come Kronsberg sia ancora oggi un laboratorio urbano per sperimentazioni di processo, poiché da diversi anni si sviluppano soluzioni innovative per la mobilità e l’approvvigionamento alimentare. Il quartiere, che ospita 6.000 unità abitative e 15.000 abitanti, è stato avviato in modalità partecipata in vista dell’EXPO 2000 (Fig. 1), significativamente dedicata a Umanità, Natura e Tecnologia (Figg. 2-4).

Questo quartiere è di interesse perché Kronsberg rappresenta uno dei primi esempi di pro-

gettazione ecocompatibile a scala distrettuale a basso consumo energetico: gli edifici hanno un’altezza massima di 5-6 piani e la diversificazione abitativa include tre differenti tipologie in base al consumo energetico, tra cui alcune a consumo zero: grazie a questa diversificazione, rispetto ai quartieri tradizionali, Kronsberg si caratterizza per un fabbisogno energetico specifico inferiore a 50 kWh/mq anno. Inoltre l’adozione di due impianti di cogenerazione che alimentano le reti locali di riscaldamento e l’integrazione nel tessuto edilizio di fonti rinnovabili (quali solare termico, solare fotovoltaico e turbine eoliche) hanno permesso una riduzione del 60% dei consumi energetici e delle emissioni di CO₂; in particolare all’interno del quartiere è stato realizzato il progetto Solarcity, i cui 104 appartamenti si appoggiano su un esteso sistema fotovoltaico di 1.350 mq, che da solo soddisfa circa il 40% del fabbisogno energetico del complesso.

Kronsberg è stato realizzato secondo i principi dall’Agenda 21 (UN, 1992), perseguendo quindi un’alta qualità dell’ambiente, il coinvolgimento diretto degli abitanti nella sua gestione energetica e la loro identificazione nei valori e nello stile di vita ecocompatibile promosso. Nel progetto hanno infatti svolto un ruolo fondamentale la comunicazione e l’informazione, azioni di design civico per rafforzare una coscienza ambientale dei residenti e per promuovere conseguentemente scelte consapevoli, sostenibili e partecipate (Gaspari et alii, 2022).

Il carattere innovativo adottato ha portato persino alla creazione di un’agenzia di comunicazione (la KUKA – Kronsberg Environmental Liaison Agency), che negli anni ha agito su vari livelli: «[...] comunicazione ambientale; modelli cooperativi per creare competenze professionali; educazione ambientale; visite guidate al quartiere e al suo intorno agricolo; [...] Kronsberg life, una rivista di presentazione periodica [...] sui processi partecipativi; Spring festival, iniziative culturali in strada; resoconti sulle analoghe iniziative a livello nazionale» (Guarini, 2011, p. 9). L’esperienza pionieristica qui avviata dimostra la fattibilità tecnico-economica di insediamenti a basso consumo energetico, quasi autosufficienti, capaci di valorizzare il ruolo degli utenti e la produzione-distribuzione di energia a base locale.

Anche Amsterdam offre un esempio significativo ai fini della presente trattazione, in quanto le Reti Sociali ed Ecologiche supportano iniziative di economia circolare e lo scambio di risorse energetiche tra cittadini. Qui, conosci che la domanda di elettricità aumenterà fino al 2050 a causa della transizione verso edifici più ecologici (ma elettricamente energivori), anche le Istituzioni locali si sono fortemente impegnate per promuovere scelte di vita consapevoli degli abitanti: forniscono consulenza alla società civile, erogano prestiti per progetti rinnovabili e, in generale, investono sul ruolo del cittadino come agente-chiave della ‘roadmap per la neutralità climatica’ (City of Amsterdam, 2020), con l’obiettivo di incrementare sensibilmente l’energia da fonti sostenibili, che nel 2017 copriva solo il 6% del fabbisogno complessivo. Tra gli aspetti strategici della roadmap verso il 2050 si ricordano:

– la Partecipazione Attiva, poiché i cittadini sono chiamati a intervenire nei processi decisionali (attraverso incontri, eventi pubblici, questionari e consultazioni);



Fig. 1 | Master Plan of EXPO 2000 Hannover (credit: AS&P, 2000).

Fig. 2 | Lithuanian Pavilion in EXPO 2000 Hannover (credit: Daniel @colblindor, 2008; source: flickr.com).

– l’Adozione di Veicoli a Emissioni Zero, per ridurre l’inquinamento urbano;

– l’Efficientamento Energetico delle case, attraverso interventi di ristrutturazione;

– la Partecipazione ai Mercati Energetici Locali, una forma di mercato libero che consente di generare energia rinnovabile e di condividerla con la comunità attraverso piattaforme digitali;

– la Promozione della Zonplatform, una piattaforma per l’energia solare che supporta i cittadini nell’autoproduzione di energia, consentendo loro di installare direttamente pannelli solari sul proprio tetto o di affittarne uno allo scopo;

– la Co-realizzazione di parcheggi solari, che ottimizzano lo spazio (limitato in Olanda) sfruttandolo in modo ibrido; ad esempio, nel 2022 Kennisland e What Design Can Do hanno avviato a Heemstede un processo di co-design (Figg. 5, 6) per la realizzazione di un parcheggio solare comunitario attento alla biodiversità;

– lo Schoonschip (Figg. 7, 8), un ‘quartiere circolare’ alimentato da sistemi off-grid⁴ (Figg. 9, 10), promosso da alcuni cittadini che, tra il 2010 e il 2021, hanno realizzato la micro-città sull’acqua più sostenibile d’Europa lungo il canale Johan van Hasselt. L’intento era creare un quartiere autosufficiente in cui le abitazioni galleggianti fossero costruite con materiali ecocompatibili, l’energia fosse prodotta e condivisa localmente, la gestione delle acque fosse efficiente e la vita fosse anche socialmente sostenibile; «[...] Schoonschip è stato realizzato sulla base del modello delle circular community, ossia comunità che si impegnano a creare un valore multiplo nel loro quartiere co-progettando interventi che mirano a chiudere i cicli di risorse a livello locale. Al centro c’è il benessere della comunità e non del singolo» (di Gregorio, 2022).

Le osservazioni sul campo e le interviste agli

abitanti (novembre 2023) hanno fatto emergere aspetti positivi e criticità di questi casi emblematici non immediatamente evidenti. Un indubbio valore evidenziato riguarda il senso di appartenenza e di responsabilità che essi avvertono, sentendosi parte attiva di una comunità che si distingue per sensibilità sociale e ambientale (capacità di autosufficienza, sostenibilità, inclusività): dal loro punto di vista essere protagonisti di un distretto energetico costituisce una reale occasione di mutua collaborazione.

Al contempo dalla visita effettuata emerge chiaramente come questi modelli virtuosi stentino ancora a raggiungere una scala più ampia di affermazione, che trova un consistente attrito nel sistema: le principali barriere (Fig. 11) che la ostacolano sono individuabili in gap di tipo culturale, psicologico, sociale, economico, politico, tecnologico e legislativo (Boffi et alii, 2023). Gli stessi ricercatori dell’AMS Institute di Amsterdam, intervistati sul tema (novembre 2023), hanno sottolineato l’urgente necessità di sviluppare sistemi e soluzioni che siano praticabili da tutti i cittadini: la transizione verso un sistema energetico più sostenibile e resistente deve, necessariamente, essere guidata da una prospettiva di accessibilità allargata.

Verso un’innovazione di modello: i distretti collaborativi per una ‘energia di prossimità’ | I casi di Hannover e Amsterdam – progetti pilota di ‘quartieri circolari’, o forme collaborative di distretti energetici – adottano il concetto di ‘prossimità’ come prospettiva progettuale. Si tratta al contempo di una sfida e di una grande opportunità: «[...] per lo sviluppo di tali iniziative, la prossimità territoriale assume il ruolo di elemento cardine – secondo un approccio place-based» (Battisti et alii, 2023, p. 139). Questi modelli sperimentali sono

caratterizzati da un’accezione comunitaria (partecipazione della cittadinanza alla governance, adozione di pratiche sostenibili condivise e coinvolgimento dal basso nella produzione di rinnovabili) e concretizzano pienamente lo scenario del ‘common collaborativo’ delineato anni fa da Rifkin (2014). Secondo l’economista e sociologo statunitense questo modello – basato sul ‘prosumer’, figura chiave che assume al tempo stesso il ruolo di produttore e di consumatore – entro il 2050 diventerà il principale arbitro della vita economica; in quel momento si assisterà a una totale transizione di ordinamenti: da concorrenza a cooperazione, da scambio a condivisione, da consumismo a sostenibilità.

Quasi dieci anni dopo Rifkin sottolinea il tramonto dell’età del progresso a favore di quella della resilienza, con conseguente mutamento dei valori sociali e dei modelli economici, sempre più sbilanciati verso adattività, capitale ecologico, rigeneratività e ‘governance bioregionale’ (Rifkin, 2022). La direzione sembra dunque tracciata e – anche a livello energetico – ci fa riflettere sull’efficacia di soluzioni totalmente centralizzate (sia in termini territoriali, che di gestione e di proprietà).

Azzardando un paragone con l’ambito informatico si contrappongono il modello ‘client server’ e il modello ‘peer to peer’: da una parte una infrastruttura di rete in cui un solo computer (client) centralizza su di sé la gestione di informazioni / servizi / energia, per permetterne poi a cascata una condivisione capillare e ramificata nel territorio, versus una infrastruttura invece paritetica, costituita da una molteplicità di nodi ‘equivalenti’ o ‘paritari’ (peer), non gerarchizzati, ognuno in grado di gestire ed erogare autonomamente risorse nel sistema.

Confrontando i progetti urbani descritti con quelli più tradizionali emerge una innovazione di

modello che va proprio nella direzione del 'common collaborativo' e dell'infrastruttura 'peer to peer': il concetto di comunità energetica come 'scambiatore di energia' indiretto – basato su una rete di distribuzione unificata attraverso cui si convogliano e poi si redistribuiscono tutti gli accumuli (caso prevalente in Italia; Figg. 12, 13) – si evolve verso forme decentralizzate dove l'energia consumata è quella prodotta localmente, internamente e autonomamente da micro-comunità (la famiglia, il vicinato, il quartiere) sempre più organizzate in distretti autosufficienti. In questo secondo caso il consumo avviene nelle aree limitrofe a quelle di produzione, inducendo così le persone a compiere scelte più consapevoli: anche a livello energetico la transizione sollecita la prossimità (Manzini, 2021).

In questo passaggio risiede uno degli elementi nodali del presente contributo, da cui scaturisce il concetto di 'distretto energetico collaborativo' inteso come laboratorio urbano per un'energia di prossimità: un modello per le Comunità Energetiche Rinnovabili (CER) italiane di cui si evidenziano (per contrapposizione) lacune e ritardi: si consideri che, in Italia, ancora oggi le comunità energetiche sono sperimentali e normate in forma provvisoria (art. 42-bis del Decreto Legge 30 dicembre 2019 n. 162). Certamente la mancanza di un quadro legislativo stabile e la scarsa chiarezza sul limite territoriale servito e sulle forme di scambio off-grid hanno favorito l'affermarsi di una impostazione di retroguardia, spesso basata più su un interesse immediato (i benefici fiscali) che su una visione di lungo termine capace di supportare e incentivare l'autoconsumo diffuso.

Benché la normativa debba essere ancora implementata, gli investimenti statali dimostrano l'evidente interesse del governo nel promuovere le CER: 5,7 miliardi di euro sono stati stanziati a tal

fine e, di questi, 2,2 miliardi del PNRR (MIMIT, 2023) prevedono un contributo a fondo perduto per finanziare fino al 40% delle CER nei Comuni con meno di 5.000 abitanti.

Anche grazie a questo ingente investimento le sperimentazioni si stanno ormai diffondendo su tutto il territorio nazionale: da quelle realizzate nel 2022 a Ussaramanna e Villanovaforru (piccoli Comuni sardi con meno di 1.000 abitanti), che rappresentano le prime due comunità energetiche costituite in Italia (Eroe and Polci, 2022), a quella per ora solo prevista a Taranta Peligna in Abruzzo, attraverso cui il Comune e l'Ente Parco della Maiella intendono contrastare la povertà energetica, sostenendo le risorse artigianali e il patrimonio industriale locali; da quelle pensate in ambito cittadino per avviare processi trasformativi di rigenerazione riscattando le aree urbane più periferiche (sono del 2023 i progetti che nasceranno a Milano nei quartieri Bovisa, Città Studi, Ghisolfi, Chiavalle e Niguarda), a quelle invece localizzate in ambito extra-urbano per privilegiare i contesti fragili, a rischio di spopolamento, con criticità ambientali e socio-economiche (si pensi alla Rete delle Comunità Energetiche Rinnovabili e Solidali).

A fronte di questo ritrovato entusiasmo possiamo affermare che le esperienze nord europee – che promuovono la condivisione delle risorse e la produzione di energia rinnovabile direttamente tra i membri della comunità, senza intermediari, contribuendo a creare ambienti più sostenibili e distretti energetici autonomi – sono esempi di innovazione sociale che hanno aperto direzioni di ricerca a cui, pur con l'inerzia del sistema, anche l'Italia sembra oggi tendere.

Conclusioni: quali proiezioni per il futuro | Nello scenario appena descritto si delinea un passaggio di paradigma produttivo, commerciale, distributi-

vo, ma anche concettuale (Lauria and Azzalin, 2021), che potrebbe rivoluzionare il concetto stesso di alleanza energetica e le relative politiche di settore. Osservando le tendenze tratte dalle città-laboratorio, infatti, si possono individuare alcune linee guida per incentivare la sostenibilità urbana:

a) la consapevolezza del ruolo centrale dei cittadini (importanza dei comportamenti energetici del singolo, responsabilizzazione individuale e nuove forme di democrazia energetica, allineamento tra necessità energetiche personali / di vicinato e relativa produzione);
b) la fiducia negli scenari collaborativi di co-produzione e co-gestione dell'energia (attraverso alleanze strategiche pubblico-privato, azioni partecipative sociali di quartiere, politiche per migliorare la collaborazione tra mercato, governo e cittadini);
c) il valore del design come strumento strategico di progettazione e di coinvolgimento, leva capace di guidare la transizione energetica verso una visione anche 'umanistica' del fenomeno (Boffi et alii, 2023). In quanto disciplina atta ad abilitare l'agire collettivo in una prospettiva di responsabilità e partecipazione (Fassi et alii, 2020), il Design riesce a elaborare visioni comuni, garantisce la coesione delle comunità, promuove sinergie virtuose tra stakeholder e facilita l'esercizio dell'innovazione (Vezzoli et alii, 2017). In particolare l'approccio del co-design e del design dei servizi appare prezioso per ingaggiare le comunità di vicinato (Casarotto, Fagnoni and Sinni, 2022), per costruire relazioni, sensibilizzare su temi ambientali e incentivare una co-progettazione alla scala del quartiere verso una trasformazione sempre più 'prossimica' delle città.

Il cambiamento di paradigma qui descritto contempla transizioni su più scale: da pianificazione territoriale di ampia scala a progetto locale di prossimità (reti corte); da gestione centralizzata a ge-



Fig. 3 | ZERI Pavilion in EXPO 2000 Hannover: il Padiglione è costruito in Guadua, una specie locale di bambù proveniente dalla Colombia (credit: sommerc, 2009; source: flickr.com).

Fig. 4 | Insektenauge in EXPO 2000 Hannover: the sensory sculpture has 120 glass lenses that allow one to understand the point of view of an insect by perceiving the world through different eyes (credit: x1klima, 2015; source: flickr.com).

stione partecipata della produzione (modelli collaborativi); da responsabilizzazione collettiva a responsabilizzazione individuale (cambiamenti di comportamento). Si tratta di una transizione non priva di difficoltà: le numerose barriere documentate e precedentemente citate ostacolano, ad esempio, la trasferibilità dell'approccio descritto in contesti altri.

Se a livello istituzionale i singoli Stati europei stanno rinnovando il quadro normativo, il Design può contribuire 'dal basso' a superare queste barriere, innanzitutto favorendo una maggiore consapevolezza e un maggiore protagonismo: «[...]

cambiare il modello energetico richiede la costruzione di una cittadinanza energetica ovvero la definizione di un nuovo ruolo per individui e comunità, orientati a un atteggiamento più informato, consapevole e critico» (Tonelli, Carboni and Nardi, 2023, p.114). Per perseguire questi obiettivi si deve necessariamente ragionare in termini comunitari e collaborativi; la sensibilità individuale, infatti, non è sufficiente per avviare una transizione sistemica.

In quest'ottica le sperimentazioni di Amsterdam e Hannover possono essere interpretate come esplorazioni primordiali 'peer to peer' dell'ener-

gia dagli impatti ancora da valutare, ma dalle potenzialità promettenti. Assumendo un comportamento adattivo e la resilienza come strategia a cui ispirare la concezione degli artefatti (Antonini, 2019), essi aprono prospettive alternative al sistema di produzione / consumo energetico centralizzato, valorizzando il ruolo dei cittadini e costruendo una società più etica, sicura e inclusiva.

The population growth trend that has characterised the last few centuries – taking the world population from one billion people in 1800 to 8 billion today – will not stop. If estimates are confirmed, by 2050, more than 70% of the population will live in cities¹. This population growth will cause a steady increase in the amount of 'primary energy' per capita needed to carry out daily activities², and urban energy demand will increase exponentially. This analysis fits into a picture that needs to look more optimistic: consider that urban areas currently consume more than 65% of the world's energy resources, producing more than 70% of CO₂³ emissions. In the face of these estimates, cities emerge as the crucial place for playing the sustainability challenge; it is no coincidence that even the Sustainable Development Goals (SDGs) of the United Nations (UN, 2015) have placed urban, climate and energy issues at the centre of political-institutional attention (see SDGs 7, 11, 12, and 13).

The urgency of this problem remains immeasurable, and it is our collective responsibility to address it immediately. The increase in the anthropic footprint has already prompted many cities to undertake targeted policies to foster sustainable development (D'Amico et alii, 2021); among these, the essay intends to analyse the initiatives promoted by two laboratory cities that are experimenting with collaborative neighbourhood projects: Hanover and Amsterdam, with their local social and ecological energy networks, open up promising scenarios that other European cities can also look to, particularly in Italy, where there is no clear legislative framework regulating free trade on an off-grid basis.

The proposed innovation model is not just a shift; it's a revolution. It's a paradigm shift in production, trade, distribution, and conceptual terms. It's a shift that could revolutionise the meaning of energy transition and the related sector policies, steering them towards more democratic and inclusive scenarios. With these objectives in mind, the paper contains an initial paragraph on scientific background, a central body devoted to the reference case studies, a critical-interpretative reading highlighting their innovative aspects, and a concluding paragraph with perspectives for action and disciplinary reflection.

Scientific background: the renewables revolution between critical issues and impacts |

As part of the Green Deal (European Commission, 2019), the European Commission has made the climate targets for 2030 more ambitious, raising the target for a net reduction of greenhouse gas emis-



Figg. 5, 6 | Groenendaal aan de Sportparklaan in Heemstede: the device for collecting residents' opinions on solar parking (credits: E. Steenbergen and D. van Loon; source: kl.nl).

sions to -55% compared to 1990, and made climate neutrality binding to 2050. To this end, the Commission has formulated a package of legislative proposals (European Commission, 2021) that act on a variety of dimensions, referring to three main drivers of action for the energy management of cities: 1) policies to encourage sustainable mobility; 2) policies to increase renewable energy sources; 3) policies to protect environmental resources.

In particular, the shift from exhaustible fossil fuels to potentially inexhaustible renewable sources is a strategic opportunity for sustainable development; however, it is also essential to assess the problems associated with the infrastructure needed to generate and transport them. The first critical issue is the environment (landscape and climate impact); due to their size and type, these plants can affect the surrounding ecosystem. Modifying the roof albedo to install photovoltaic modules can impact urban heating (Centeno Brito, 2020) and the local microclimate.

Similarly, the aesthetic and acoustic impact of wind power plants is not to be neglected (Deshmukh et alii, 2019), nor is the olfactory impact of renewable biogas production (Loughrin et alii, 2022): for the transition to more sustainable energy sources to be successful, it is necessary to assess them also according to their subjective characteristics, i.e. related to the emotional-psychological aspects and expectations of the people who use them (Leonardi et alii, 2023).

The pilot projects of Hanover and Amsterdam as urban laboratories for energy transition |

While speculative scenarios are proliferating (Dunne and Raby, 2013), increasingly promising field experiments are emerging. In this perspective, Hanover and Amsterdam are considered virtuous cities, incubators of innovation policies for energy transition that disrupt the most widespread models of energy production and consumption, for instance, in the Italian context. Their analysis draws on the relevant literature (mainly referring to the last five years, international in scope and oriented towards both design disciplines and social sciences), interviews with inhabitants and project promoters (qualitative interviews on the potentialities and criticalities of the initiatives carried out) and field observations (in Hannover on 28 November 2023 and in Amsterdam on 29 November 2023).

These two cases stand out because they are precursors of experimental models of energy districts to replicate and transfer to other urban contexts, as widespread daily awareness, political expediency, and economic necessity converge in the same direction. The same concept of Positive Energy District, which refers to a district that produces more energy than it consumes, in which the new Horizon Europe 2021-2027 research and innovation Plan is investing (Gollner et alii, 2020), constitutes the horizon to strive for and the social and design challenge to be accepted.

Despite its outdated origins, the Kronsberg district in Hanover, Germany, has a pioneering character. Its Social Energy Networks (Gausa, 2020) presents itself as an effective tool for involving citizens who actively participate in local energy exchanges and directly contribute to producing renewable energy. From the meeting with lecturers at Leibniz University, it is clear that Kronsberg is still



Figg. 7, 8 | Schoonschip (2009) in Amsterdam, designed by SPACE&MATTER (credits: C. Leonardi, 2024).

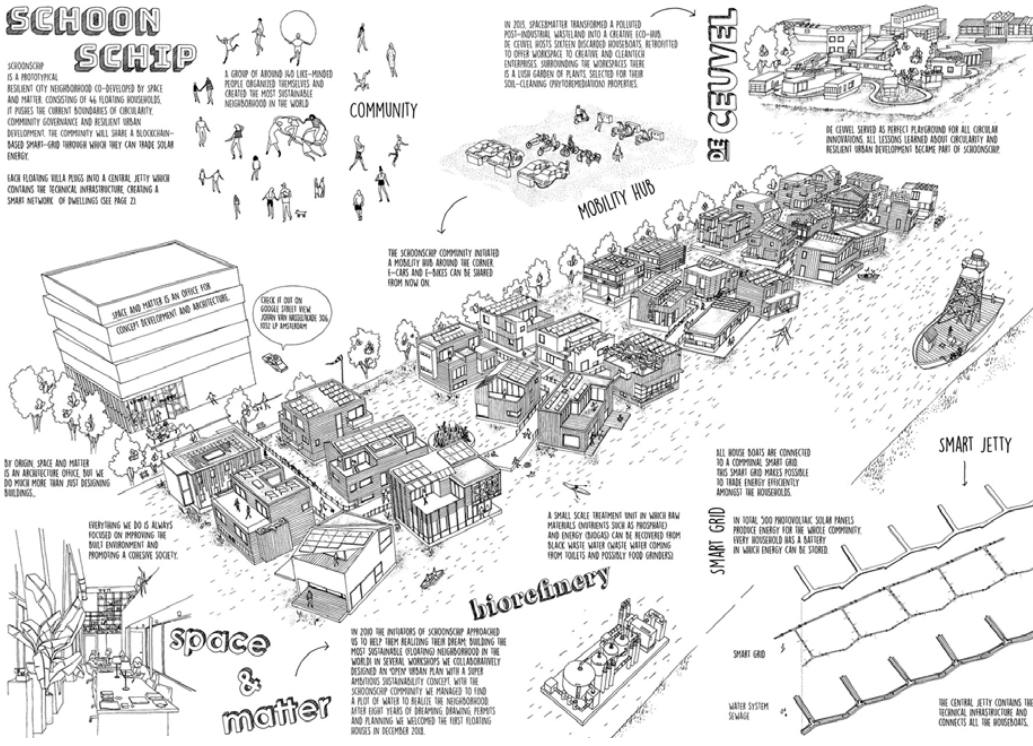
an urban laboratory for process experiments, as innovative solutions for mobility and food supply issues developed over several years. The district, with 6,000 housing units and 15.000 inhabitants, was initiated in a participatory manner in the run-up to EXPO 2000 (Fig. 1), significantly dedicated to Humanity, Nature and Technology (Figg. 2-4).

This district is of interest because Kronsberg represents one of the first examples of environmentally friendly design on a district scale with low energy consumption: the buildings have a maximum height of 5-6 storeys, and the housing diversification includes three different types according to energy consumption, including some with zero consumption: thanks to this diversification, compared to traditional districts, Kronsberg is characterised by a specific energy requirement of less than 50 kWh/sqm per year. In addition, the adoption of two cogeneration plants that supply the local heating networks and the integration of renewable sources (such as solar thermal, solar photovoltaic and wind turbines) into the building fabric have allowed for a 60% reduction in energy consumption and CO₂ emissions; in particular, the Solarcity project will implement within the district, whose 104 flats rely on an extensive photovoltaic system of 1.350 square metres, which alone meets approximately 40% of the complex's energy needs.

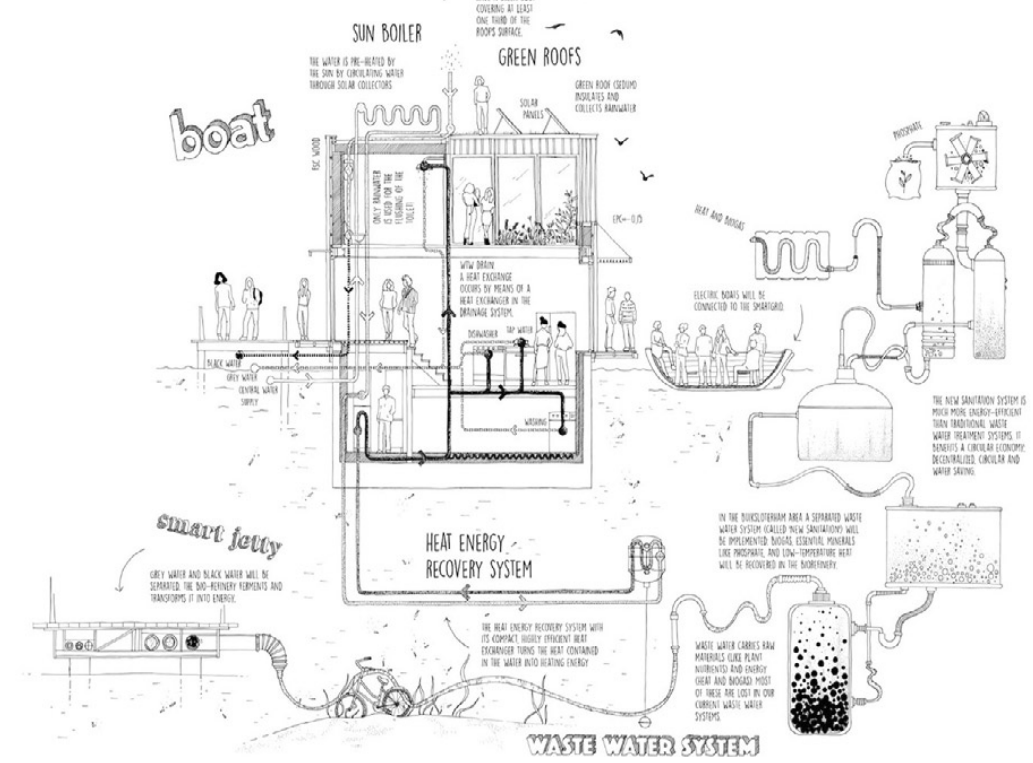
Kronsberg strives according to the principles of Agenda 21 (UN, 1992), thus pursuing high environmental quality, direct involvement of the inhabitants in energy management and their identification with the values and ecological lifestyle promoted. Communication and information played a fundamental role in the project, civic design actions to strengthen residents' environmental awareness and consequently promote conscious, sustainable and participatory choices (Gaspari et alii, 2022).

The innovative character adopted has even led to the creation of a communication agency (KUKA – Kronsberg Environmental Liaison Agency), which over the years has acted on various levels: environmental communication; cooperative models to create professional skills; ecological education; guided tours of the district and its agricultural surroundings; Kronsberg life, a magazine for periodic presentation on participatory processes; Spring festivals, cultural initiatives in the street; reports on similar initiatives on a national level (Guarini, 2011). The pioneering experience launched here demonstrates the technical-economic feasibility of low-energy, almost self-sufficient settlements capable of enhancing the role of users and the production distribution of energy on a local basis.

Amsterdam also offers a significant example for this discussion, as Social and Ecological Networks



SPACE&MATTER WORK ABOUT SERVICES ECOSYSTEM LAB



Obstacles to the affirmation of energy sustainability

POLICY & GOVERNANCE	ECONOMIC & MARKET	TECNOLOGY & INNOVATION
<ul style="list-style-type: none"> Short term focus of politics Opaque and exclusionary decision making Problems of democracy 	<ul style="list-style-type: none"> Lack of true costing and valuation Skewed and perverted incentives 	<ul style="list-style-type: none"> Unsustainable existing technologies Dependence on non-renewable energy sources
SOCIETAL	COGNITIVE & BEHAVIORAL	
<ul style="list-style-type: none"> High levels of inequality Social unrest and conflict Insufficient provision of basic services 	<ul style="list-style-type: none"> Human-centric view on nature Denialism and lack of urgency 	

support circular economy initiatives and the exchange of energy resources between citizens. Here, aware that the electricity demand will increase until 2050 due to the transition to more ecological (but electrically energy-consuming) buildings, local institutions are also firmly committed to promoting conscious lifestyle choices of inhabitants: they advise civil society, provide loans for renewable projects and, in general, invest in the role of the citizen as a key-agent in the 'roadmap to climate neutrality' (City of Amsterdam, 2020), to significantly increase energy from sustainable sources, which in 2017 covered only 6% of total needs. Strategic aspects of the roadmap to 2050 include:

- Active Participation, as citizens are called upon to intervene in decision-making processes (through meetings, public events, questionnaires and consultations);
- the Adoption of Zero Emission Vehicles to reduce urban pollution;
- Energy Efficiency of houses through renovation;
- Participation in Local Energy Markets, a form of free market that allows renewable energy to be generated and shared with the community through digital platforms;
- the Promotion of the Zonplatform, a solar energy platform that supports citizens in the self-production of energy, enabling them to install solar panels directly on their roofs or to rent one for this purpose;
- the Co-design of solar car parks, which optimise space (limited in the Netherlands) by exploiting it in a hybrid way; for example, in 2022, Kennisland and What Design Can Do initiated a co-design process in Heemstede (Fig. 5, 6) for the realisation of a biodiversity-conscious community solar car park;
- the Schoonschip (Fig. 7, 8), a 'circular neighbourhood' powered by off-grid systems⁴ (Fig. 9, 10), initiated by citizens who, between 2010 and 2021, built Europe's most sustainable micro-city on water along the Johan van Hasselt canal. The intention was to create a self-sufficient neighbourhood, build floating dwellings with ecological materials, produce locally, share energy, manage water efficiently, and live socially sustainably; Schoonschip was built based on the model of circular communities, i.e. communities committed to creating multiple values in their neighbourhoods by co-designing interventions to close local resource cycles; at the centre is the well-being of the community and not the individual (di Gregorio, 2022).

The field observations and interviews with the inhabitants (November 2023) revealed positive and critical aspects of these emblematic cases that became apparent. One undoubted value highlighted concerns the sense of belonging and responsibility that they feel, as they think they are an active part of a community that stands out for its social and environmental sensitivity (capacity for self-sufficiency, sustainability, and inclusiveness): from their point of view, being the protagonists of an energy district constitutes a real opportunity for mutual collaboration.

At the same time, it is clear from the visit that these virtuous models are still struggling to achieve

Fig. 9, 10 | Schoonschip: the circular resource management model implemented in the Schoonschip district, Amsterdam 2009 (credits: SPACE&MATTER, 2023; source: spaceandmatter.nl).

Fig. 11 | Barriers to establishing energy sustainability (credit: The Authors, 2024)

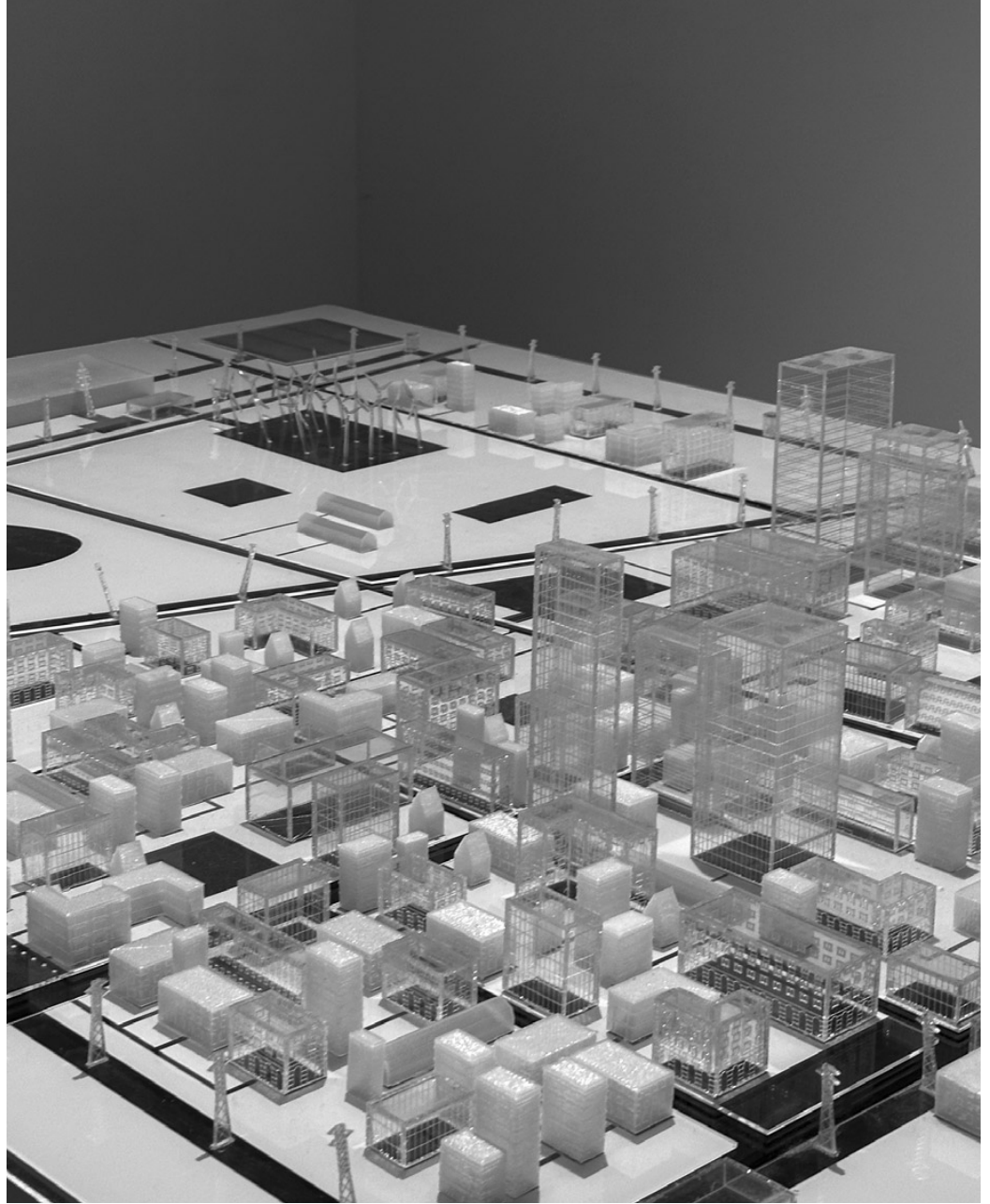
a broader scale of affirmation, which finds significant friction in the system: the main barriers (Fig. 11) that hinder it can be found in cultural, psychological, social, economic, political, technological and legislative gaps (Boffi et alii, 2023). The researchers of the AMS Institute in Amsterdam themselves, interviewed on this topic (November 2023), emphasised the urgent need to develop systems and solutions practicable for all citizens: the transition to a more sustainable and resilient energy system must inspire a broader accessibility perspective.

Towards a model innovation: collaborative districts for 'proximity energy' | The cases of Hanover and Amsterdam – pilot projects of 'circular districts' or collaborative forms of energy districts – adopt the concept of 'proximity' as a planning perspective. It is a challenge and a great opportunity: for the development of such initiatives, territorial proximity assumes the role of a pivotal element – according to a place-based approach (Battisti et alii, 2023). These experimental models are characterised by a communitarian sense (participation of citizenship in governance, adoption of shared sustainable practices and bottom-up involvement in renewables production) and fully realise the scenario of the 'collaborative commons' outlined years ago by Rifkin (2014). According to the American economist and sociologist, this model – based on the 'prosumer', a key figure who assumes the role of producer and consumer at the same time – will become the primary arbiter of economic life by 2050; at that time, we will witness a total transition of order: from competition to cooperation, from exchange to sharing, from consumerism to sustainability.

Almost ten years later, Jeremy Rifkin reaffirms the demise of the age of progress in favour of that of resilience, with consequent changes in social values and economic models, increasingly skewed towards adaptability, ecological capital, regeneration and 'bioregional governance' (Rifkin, 2022). The direction, therefore, is set and – even at the energy level – makes us question the effectiveness of totally centralised solutions (in terms of territory, management and ownership).

It contrasts the 'client server' model and the 'peer to peer' model: on the one hand, a network infrastructure in which a single computer (client) centralises the management of information / services / energy to allow it to be shared in a capillary and ramified manner throughout the territory, versus an instead peer-to-peer infrastructure, made up of an assortment of 'equivalent' or 'peer' nodes, not hierarchical, each able to manage and supply resources in the system autonomously.

Suppose one compares the described urban projects with more traditional ones. In that case, a model of innovation emerges that goes in the direction of the 'collaborative common' and the 'peer-to-peer' infrastructure: the concept of the energy community as an indirect 'energy exchanger' – based on a unified distribution network through which all accumulations pass and then are redistributed (the prevalent case in Italy; Figg. 12, 13) – evolves towards decentralised forms where the energy consumed is that produced locally, internally



Figg. 12, 13 | Wired Fest by Enel in Milan (2022): model created to raise awareness of the energy distribution system (credits: Design Differente, 2022).

and autonomously by micro-communities (the family, the neighbourhood) increasingly organised into self-sufficient districts. In this second case, consumption takes place in areas close to those of production, thus inducing people to make more conscious choices: even at the energy level, the transition urges proximity (Manzini, 2021).

In this passage lies one of the nodal elements of the present contribution, from which the concept of the 'collaborative energy district' springs, understood as an urban laboratory for proximity energy: a model for the Italian Renewable Energy Communities (REC) of which gaps and delays are highlighted (by contrast): consider that, in Italy, energy communities are still experimental and regulated in a provisional form (art. 42-bis, Decreto Legge 30 dicembre 2019 n. 162). Indeed, the lack of a stable legislative framework and the lack of clarity on the territorial limit served and the off-grid forms of exchange have favoured the emergence of a rear-guard approach, often based more on an immediate interest (tax benefits) than on a long-term vision capable of supporting and incentivising widespread self-consumption.

Although the legislation still needs further implementation, state investments show the government's apparent interest in promoting CERs: 5,7 billion euros have been allocated for this purpose and, of these, 2,2 billion in the PNRR (MIMIT, 2023) provide a non-repayable contribution to finance up to 40 per cent of CERs in municipalities with less than 5.000 inhabitants.

Also thanks to this substantial investment, experiments are now spreading throughout the country: from those carried out in 2022 in Ussaramanna and Villanovaforru (small Sardinian municipalities with less than 1.000 inhabitants), which represent the first two energy communities set up in Italy (Eroe and Polci, 2022), to the one for now only planned in Taranta Peligna in Abruzzo, through which the municipality and the Maiella Park Authority intend to combat energy poverty by supporting local artisan resources and industrial heritage; from those conceived in the city to initiate transformative regeneration processes by redeveloping the most peripheral urban areas (in 2023, project plans are going to be established in Milan in the Bovisa, Città Studi, Ghisolfia, Chiaravalle and Niguarda districts),

to those instead located outside the city to favour fragile contexts, at risk of depopulation, with environmental and socio-economic criticalities (e.g. the Renewable and Solidarity Energy Community Network).

In the face of this newfound enthusiasm, we can affirm that northern European experiences – which promote the sharing of resources and the production of renewable energy directly among community members, without intermediaries, contributing to the creation of more sustainable environments and autonomous energy districts – are examples of social innovation that have opened up research directions towards which, despite the inertia of the system, Italy too now seems to be striving.

Conclusions: what are the projections for the future

In the scenario just described, a paradigm shift in production, trade, and distribution, but also conceptual (Lauria and Azzalin, 2021), which could revolutionise the very concept of energy alliance and the related sector policies, is outlined. Looking at the trends outlined by the city workshops, we can identify some guidelines to foster urban sustainability:

- a) awareness of the central role of citizens (importance of individual energy behaviour, individual empowerment and new forms of energy democracy, alignment between personal / neighbourhood energy needs and their production);
- b) confidence in collaborative scenarios of co-production and co-management of energy (through public-private strategic alliances, neighbourhood social participatory actions, policies to improve collaboration between market, government and citizens);
- c) the value of design as a strategic design and involvement tool, a lever capable of guiding the energy transition towards an even 'humanistic' vision of the phenomenon (Boffi et alii, 2023). As a discipline capable of enabling collective action in a perspective of responsibility and participation (Fassi et alii, 2020), design succeeds in elaborating shared visions, ensures community cohesion, promotes virtuous synergies between stakeholders and facilitates the exercise of innovation (Vezzoli et alii, 2017). In particular, the co-design and service design approach appears valuable to engage neigh-

bourhood communities (Casarotto, Fagnoni and Sinni, 2022), to build relationships, raise awareness on environmental issues and encourage co-design at the neighbourhood scale towards an increasingly 'proxemic' transformation of cities.

The paradigm shift described here involves transitions on several scales: from large-scale spatial planning to local neighbourhood planning (short networks), from centralised to participatory production management (collaborative models), and from collective to individual empowerment (behavioural changes). This transition is not without its difficulties: the numerous documented and previously mentioned barriers hinder, for example, the transferability of the described approach to other contexts.

If, at the institutional level, individual European states are renewing the regulatory framework, design can contribute 'from below' to overcoming these barriers, first of all by fostering greater awareness and protagonism: changing the energy model requires the construction of energy citizenship, i.e. the definition of a new role for individuals and communities, oriented towards a more informed, aware and critical attitude (Tonelli, Carboni and Nardi, 2023). To pursue these goals, one must think in community and collaborative terms; individual sensitivity is insufficient to initiate a systemic transition. From this point of view, we can interpret the Amsterdam and Hanover experiments as primordial explorations of 'peer-to-peer' energy, with impacts yet to be assessed but promising potential. Assuming adaptive behaviour and resilience as a strategy to inspire the design of artefacts (Antonini, 2019), they open up alternative perspectives to the centralised energy production / consumption system, enhancing the role of citizens and building a more ethical, safe and inclusive society.



Fig. 14 | The Solar Settlement, a sustainable housing community project in Freiburg, Germany (credit: Andrewglaser, 2009).

Acknowledgements

This study was funded by the European Union – Next-GenerationEU, in the framework of the ‘iNEST – Interconnected Nord-Est Innovation Ecosystem’ (iNEST ECS0000 0043 – CUP F43C22000200006). The views and opinions expressed are solely those of the Authors and do not necessarily reflect those of the European Union, nor can the European Union be held responsible for them.

Notes

1) For more information, see the webpage: esa.un.org/unpd/wup/ [Accessed 29 March 2024].

2) For more information, see the webpage: ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/-/nrg_ind_esc [Accessed 29 March 2024].

3) For more information, see the webpage: research-and-innovation.ec.europa.eu/funding/funding-opportunities/funding-programmes-and-open-calls/horizon-europe/eu-missions-horizon-europe/climate-neutral-and-smart-cities_en [Accessed 29 March 2024].

4) For more information on VvE Schoonschip, see the webpage: schoonschipamsterdam.org [Accessed 29 March 2024].

References

- Antonini, E. (2019), “Incertezza, fragilità, resilienza | Uncertainty, fragility, resilience”, in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 6, pp. 6-13. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/612019 [Accessed 25 March 2024].
- Battisti, A., Antonini, M., Calvano, A. and Canducci, A. (2023), “Comunità Energetiche – Laboratori energetici e di sviluppo economico nelle valli del tortonese | Energy Communities – Energy and economic development laboratories in the Tortona valleys”, in *Techne | Journal of Technology for Architecture and Environment*, vol. 26, pp. 131-141. [Online] Available at: doi.org/10.36253/techne-14454 [Accessed 20 March 2024].
- Boffi, M., Crippa, D., Di Prete, B., Inghilleri, P., Rainisio, N., Rebaglio, A. and Sergi, I. (eds) (2023), *AAA – Humanizing Energy – Progetti e Lessici per la Transizione Energetica*, ENEA, Roma. [Online] Available at: pubblicazioni.enea.it/le-pubblicazioni-enea/edizioni-enea/anno-2023/aaa-humanizing-energy.html [Accessed 29 March 2024].
- Casarotto, L., Fagnoni, R. and Sinni, G. (2021), *Dialoghi oltre il Visibile – Il design dei servizi per il territorio e i cittadini*, Ronzani Editore, Vicenza.
- Centeno Brito, M. (2020), “Assessing the Impact of Photovoltaics on Rooftops and Facades in the Urban Micro-Climate”, in *Energies*, vol. 13, issue 11, article 2717, pp. 1-10. [Online] Available at: doi.org/10.3390/en13112717 [Accessed 29 March 2024].
- City of Amsterdam (2020), *New Amsterdam Climate – Roadmap Amsterdam Climate Neutral 2050*. [Online] Available at: amsterdam.nl/en/policy/sustainability/policy-climate-neutrality/ [Accessed 29 March 2024].
- D’Amico, G., Arbolino, R., Shi, L., Yigitcanlar, T. and Ioppolo, G. (2021), “Digitalisation driven urban metabolism circularity – A review and analysis of circular city initiatives”, in *Land Use Policy*, vol. 112, article 105819, pp. 1-12. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105819 [Accessed 29 March 2024].
- Decreto Legge 30 dicembre 2019, n. 162, “Testo del decreto-legge 30 dicembre 2019, n. 162 (in Gazzetta Ufficiale – Serie generale – n. 305 del 31 dicembre 2019), coordinato con la legge di conversione 28 febbraio 2020, n. 8 (in questo stesso Supplemento ordinario alla pag. 1), recante: «Disposizioni urgenti in materia di proroga di termini legislativi, di organizzazione delle pubbliche amministrazioni, nonché di innovazione tecnologica» (20A01353)”, in *Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana*, Serie Generale n. 51 del 29/02/2020, Suppl. Ordinario n. 10. [Online] Available at: gazzettaufficiale.it/eli/gu/2020/02/29/51/so/10/sg/pdf [Accessed 29 March 2024].
- Deshmukh, S., Bhattacharya, S., Jain, A. and Paul, A. R. (2019), “Wind turbine noise and its mitigation techniques – A review”, in *Energy Procedia*, vol. 160, pp. 633-640. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.egypro.2019.02.215 [Accessed 29 March 2024].
- di Gregorio, R. (2022), “Schoonschip – La micro-città sull’acqua più sostenibile d’Europa”, in *Edilportale*, 05/12/2022. [Online] Available at: edilportale.com/news/2022/12/focus/schoonschip-la-micro-citta-sull-acqua-piu-sostenibile-d-europa_91549_67.html [Accessed 29 March 2024].
- Dunne, A. and Raby, F. (2013), *Speculative Everything – Design, fiction, and social dreaming*, MIT Press, Boston.
- Eroe, K. and Polci, T. (2022), *Comunità Rinnovabili, Legambiente*. [Online] Available at: legambiente.it/wp-content/uploads/2021/11/Comunita-Rinnovabili-2022_Report.pdf [Accessed 19 March 2024].
- European Commission (2021), *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – ‘Fit for 55’ – Delivering the EU’s 2030 Climate Target on the way to climate neutrality*, document 52021DC0550, 550 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021DC0550 [Accessed 29 March 2024].
- European Commission (2019), *Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – The European Green Deal*, document 52019DC0640, 640 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN [Accessed 29 March 2024].
- Fassi, D., Landoni, P., Piredda, F. and Salvadeo, P. (eds) (2020), *Universities as Drivers of Social Innovation – Theoretical Overview and Lessons from the campUS Research*, Springer International Publishing. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-030-31117-9 [Accessed 29 March 2024].
- Gaspari, J., Marchi, L., Oberosler, C. and Antonini, E. (2022), “Strumenti di monitoraggio per abitare il risparmio energetico nell’edilizia sociale | Monitoring tools as energy saving enablers in social housing context”, in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 12, pp. 136-145. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/12122022 [Accessed 29 March 2024].
- Gausa, M. (ed.) (2020), *Towards Resil(g)ence – Città intelligenti, paesaggi resilienti*, Genova University Press, Genova. [Online] Available at: gup.unige.it/sites/gup.unige.it/files/pagine/Towards_Resili-g-ence_Citta_intelligenti_paesaggi-indicizzato.pdf [Accessed 29 March 2024].
- Gollner, C., Hinterberger, R., Noll, M., Meyer, S. and Schwarz, H. G. (2020), *White Paper on PED Reference Framework for Positive Energy Districts and Neighbourhoods*, JPI Urban Europe / SET Plan Action 3.2. [Online] Available at: jpi-urbaneurope.eu/ped/ [Accessed 20 March 2024].
- Guarini, S. M. (2011), *Quartieri Ecosostenibili in Europa*, OCS, Dipartimento Interateneo di Scienze, Progetto e Politiche del Territorio, Politecnico e Università di Torino. [Online] Available at: scienze politiche.unical.it/bacheca/archivio/materiale/949/urbana,%202016-17/ecoquartieri90/N.pdf [Accessed 29 March 2024].
- Lauria, M. and Azzalin, M. (2021), “Paradigmi | Paradigms”, in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 9, pp. 12-21. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/912021 [Accessed 29 March 2024].
- Leonardi, C., Crippa, D., Di Prete, B. and Pasteris, P. (2023), “Il design per la transizione energetica tra INTuizione e Intenzione | Designing for the energy transition from INTuition to INTention”, in *Techne | Journal of Technology for Architecture and Environment*, vol. 26, pp. 53-60. [Online] Available at: doi.org/10.36253/techne-14479 [Accessed 29 March 2024].
- Loughrin, J., Silva, P., Lovanh, N. and Sistani, K. (2022), “Acoustic Stimulation of Anaerobic Digestion – Effects on Biogas Production and Wastewater Malodors”, in *Environ-ments*, vol. 9, issue 8, article 102, pp. 1-14. [Online] Available at: doi.org/10.3390/environments908102 [Accessed 29 March 2024].
- Manzini, E. (2021), *Abitare la prossimità – Idee per la città dei 15 minuti*, EGEA, Milano.
- MIMIT – Ministero delle Imprese e del Made in Italy (2023), *Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza*. [Online] Available at: mimit.gov.it/images/stories/documenti/PN-RR_Aggiornato.pdf [Accessed 29 March 2024].
- Rifkin, J. (2022), *L’età della resilienza – Ripensare l’esistenza su una terra che si rinaturalizza*, Mondadori, Milano.
- Rifkin, J. (2014), *La società a costo marginale zero – L’internet delle cose, l’ascesa del Commons collaborativo e l’eclissi del capitalismo*, Mondadori, Milano.
- Tonelli, C., Cardone, B. and Nardi, G. (2023), “Strumenti digitali per un abitare consapevole | Digital tools for informed living”, in *Techne | Journal of Technology for Architecture and Environment*, vol. 26, pp. 86-93. [Online] Available at: doi.org/10.36253/techne-14482 [Accessed 29 March 2024].
- UN – United Nations (1992), *Agenda 21 – United Conference on Environment & Development, Rio de Janeiro, Brazil 3 to 14 June 1992*. [Online] Available at: sustainabledevelopment.un.org/content/documents/Agenda21.pdf [Accessed 10 March 2024].
- UN – United Nations (2015), *Transforming our World – The 2030 Agenda for Sustainable Development*, document A/RES/70/1. [Online] Available at: sdgs.un.org/2030agenda [Accessed 29 March 2024].
- Vezzoli, C., Kohtala, C., Srinivasan, A., Diehl, J. C., Fusakul, S. M., Liu, X. and Sateesh, D. (2017), *Product-Service System Design for Sustainability*, Routledge. [Online] Available at: doi.org/10.4324/9781351278003 [Accessed 29 March 2024].

ARTICLE INFO

Received	18 March 2024
Revised	20 April 2024
Accepted	29 April 2024
Published	30 June 2024

DESIGN DEL SISTEMA ALIMENTARE PER COMUNITÀ RESILIENTI

Agricoltura urbana e spazi sostenibili

FOOD SYSTEM DESIGN FOR RESILIENT COMMUNITIES

Urban agriculture and sustainable spaces

Stefano Follesa, Martina Corti, Diletta Struzziero, Aurora Piluso

ABSTRACT

Nella società post-pandemica, rispetto alle numerose sfide sociali, c'è un'attenzione crescente per indirizzare le Istituzioni pubbliche a fornire nuovi servizi, coerentemente con l'Agenda 2030 che sottolinea la necessità di uno sviluppo sostenibile e inclusivo, riducendo le disuguaglianze nelle città. Questo studio si concentra su sistemi alimentari urbani autonomi e resilienti, analizzando le strategie di Social Design per una maggiore coesione sociale; integrando design innovativi e tecnologie avanzate, si promuove l'Agricoltura urbana per la consapevolezza ambientale e l'inclusione sociale. Questo approccio di rigenerazione urbana mira a trasformare gli spazi urbani residuali in parchi comunitari dedicati alla condivisione di risorse e alla costruzione di connessioni tra persone. Mediante un'analisi approfondita e l'applicazione di nuove tecnologie si ricercano miglioramenti nella sostenibilità sociale e ambientale urbana.

In the post-pandemic society with numerous social challenges, there is an increasing focus on public institutions to provide new services. The 2030 Agenda emphasises the need for sustainable and inclusive development, reducing inequalities in cities. This study focuses on autonomous and resilient urban food systems, analysing Social Design strategies for greater social cohesion. Urban Agriculture promotes environmental awareness and social inclusion by integrating innovative designs and advanced technologies. This urban regeneration approach aims to transform residual urban spaces into community parks dedicated to sharing resources and building connections between people. Through in-depth analysis and the application of new technologies, urban social and environmental sustainability improvements are sought.

KEYWORDS

design del sistema alimentare, design sociale, agricoltura urbana, comunità resiliente, innovazione sociale

food system design, social design, urban agriculture, resilient community, social innovation

Stefano Follesa, Designer and PhD, is a Researcher at the University of Florence (Italy) and has been a Visiting Professor at the NUAA University Nanjing (China) and Alzahra University (Iran). His research interests include Spatial Design and Narrative Design. E-mail: stefano.follesa@unifi.it

Martina Corti, Designer and Subject Expert at the Degree Course in Industrial Design, University of Florence (Italy), carries out research on the themes of Hybrid City and Urban Regeneration. E-mail: martina.corti@edu.unifi.it

Diletta Struzziero, Designer, is a Teaching Coordinator of the Master's Degree in Interior Design at the University of Florence (Italy). Her research interests include Spatial Design, Eco-social Design and Urban Regeneration. E-mail: diletta.struzziero@edu.unifi.it

Aurora Piluso, Designer, collaborates with the Laboratory of Spatial Design at the University of Florence (Italy). Her research interests include Sustainable Design, Eco-social Design and Urban Regeneration. E-mail: aurora.piluso@edu.unifi.it



Negli scenari futuri offerta di cibo e coesione sociale risultano centrali per lo sviluppo delle città; l'impatto visibile dei cambiamenti climatici e dei recenti conflitti mondiali sui sistemi agricoli sta portando un calo della produttività agricola, minacce alla salute e alla sicurezza alimentare (BCFN and MUFPP, 2018); al contempo il crescente sviluppo delle città e lo spopolamento di borghi e aree agricole rendono i problemi alimentari un'emergenza che diverrà primaria. Secondo le stime del World Population Prospects (United Nation, 2022) entro il 2050 i due terzi della popolazione mondiale vivrà nelle città, fenomeno che interesserà prevalentemente Paesi quali India, Cina e Nigeria, e ciò si tradurrà in un aumento della domanda globale di prodotti agricoli, gravando sui sistemi di distribuzione alimentare.

Le interruzioni del sistema alimentare nelle grandi città, la chiusura di complessi residenziali e la scarsità di forniture alimentari quotidiane evidenziano la mancanza di una corretta gestione delle emergenze nei contesti urbani. Pertanto è necessario istituire filiere produttive che consentano alle città un livello minimo di autosufficienza alimentare attraverso metodi di produzione agricola che coinvolgano il livello urbano. I progettisti devono ripensare spazi delle città per integrarvi componenti del sistema alimentare alla transizione spaziale urbana, come evidenziato dagli obiettivi dell'European Green Deal (European Commission, 2019) o dall'Obiettivo n. 11 per lo Sviluppo Sostenibile delle Nazioni Unite (UN, 2023).

Il presente studio mira a promuovere nuovi approcci di rigenerazione urbana attraverso la progettazione, da parte di abitanti attivi, di giardini comunitari per la produzione alimentare, integrando anche iniziative sociali. L'obiettivo è sviluppare una forma avanzata di spazi verdi, Orchard Park (Kimic, 2019), che rispetti i principi dei 'planetary boundaries' (Rockström et alii, 2009) e impieghi tecnologie del tipo Human-Computer Interaction, migliorando integrazione e sostenibilità di tali spazi urbani. Queste aree di micro-food, gestite con l'ausilio di tecnologie avanzate, possono promuovere un consumo di cibo sostenibile e resiliente, ridurre le distanze di approvvigionamento, limitare gli sprechi, favorire un accesso più ampio al cibo e contribuire alla coesione sociale, fungendo da ponte tra situazioni di emergenza e cittadinanza attiva. L'Agricoltura urbana si configura quindi come strumento per promuovere la consapevolezza e valorizzare una nuova identità culturale nel contesto delle sfide sostenibili, sociali e ambientali del nuovo millennio (Betz, Mills and Farmer, 2017).

Dallo studio della letteratura e dello stato dell'arte sulla rigenerazione urbana applicata alla produzione agricola emerge un interesse marcato verso i modelli di frutteto urbano. Attraverso l'analisi di casi studio rilevanti (tra cui Orti Dipinti a Firenze, Mudchute Farm a Londra e Michigan Urban Farming Initiative a Detroit) si evidenzia la potenzialità di trasformazione degli spazi urbani residuali. Gli studi che esplorano le relazioni tra Agricoltura urbana e tecnologia indicano l'opportunità di innovazione per creare un maggiore coinvolgimento delle comunità (Lyle, Choi and Foth, 2013); infatti la tecnologia può essere utilizzata per supportare reti alimentari distribuite e strutture di governance democratica che gestiscono produzione e distribuzione del cibo (Norton et alii, 2017).

Il presente lavoro illustra l'elaborazione di un

modello innovativo che integra il concetto di frutteto urbano con quello di Pocket Park, promuovendo un ambiente di cooperazione e interazione comunitaria. L'originalità del modello proposto risiede nella capacità di combinare il Design Biofilico, che incoraggia una connessione diretta tra ambiente urbano e natura, con l'impiego di nuove tecnologie e pratiche di Social Design, così da facilitare la creazione di connessioni uomo-natura e rendere il modello in analisi un esempio significativo di innovazione nel campo della rigenerazione urbana.

La metodologia di indagine si fonda su un'analisi approfondita della letteratura e dall'applicazione del metodo di analisi funzionale per esaminare l'adozione di nuove tecnologie, allo scopo di migliorare la sostenibilità sociale e ambientale nelle aree urbane. Queste tematiche costituiranno le sezioni principali del contributo.

Cibo e città | Dal Nord al Sud del mondo sempre più l'Agricoltura urbana e le politiche alimentari ad essa connesse assumono rilevanza nella definizione di nuovi scenari. La 2013 Bonn Declaration of Mayors (Mendle, 2015) – tenuta all'ICLEI Resilient City Congress di Bonn il 2 giugno 2013 – ha evidenziato la necessità di attuare, da parte dei governi locali, un approccio olistico per lo sviluppo dei sistemi alimentari urbani al fine di garantire maggiore sicurezza alimentare, resilienza urbana e adattamento, contribuire all'eliminazione della povertà e proteggere la biodiversità locale. L'Agricoltura urbana, trascendendo il mondo accademico, diviene obiettivo politico attuabile tramite Strategie e Piani locali su misura e strumento progettuale per un'attività multifunzionale per tematiche socio-ambientali e socio-spaziali (Attiani, 2012), contribuendo a equità e coesione sociale.

L'importanza di tale pratica è sancita anche nell'ottobre 2015 dal Milan Urban Food Policy Pact (Tegoni and Licomati, 2017) – firmato da 260 città di tutto il mondo – che riconosce il ruolo attivo che gli agricoltori e i piccoli produttori svolgono nella fornitura di alimenti per un commercio equo e solidale. Il patto identifica nuove opportunità di sviluppo per un'agricoltura urbana e periurbana, definendo collegamenti innovativi tra sicurezza alimentare e cambiamento climatico e individuando cinque azioni chiave: 1) impegno con le parti interessate per un ambiente favorevole; 2) promozione di un'alimentazione sana; 3) accesso equo ai prodotti alimentari; 4) promozione della produzione e approvvigionamento alimentare rurale-urbano; 5) riduzione degli sprechi alimentari.

Come affermato nell'Agenda 2030 (UN, 2015) crescita inclusiva e sviluppo sostenibile risultano fondamentali per il raggiungimento dei 17 Obiettivi dello Sviluppo Sostenibile (SDGs), che includono concetti chiave per accessibilità e riduzione delle disuguaglianze nelle città e comunità. In particolare modo l'Obiettivo 2 (Fame zero), sottolinea il diritto di ognuno di noi di avere cibo a sufficienza durante tutto l'anno, grazie anche a un'agricoltura sostenibile e a nuovi sistemi di produzione alimentare.

L'Organizzazione delle Nazioni Unite per l'Agricoltura e l'Alimentazione (FAO; Segre, Falasconi and Bellettato, 2013) nel 2011 ha evidenziato come entro il 2050 avremo un aumento della domanda alimentare di circa il 60%; nel 2019 (Marino et alii, 2020) ha riconosciuto l'importanza dell'Agricoltura urbana all'interno del quadro per l'A-

gricoltura urbana, sottolineando la capacità multifunzionale di tale pratica nel fornire cibo fresco e soddisfare i bisogni nutrizionali di base attraverso la coltivazione di frutta e verdura, con numerosi benefici per la salute e il miglioramento della sicurezza alimentare.

Il ruolo degli spazi urbani | La scarsa qualità degli spazi urbani è strettamente correlata alla mancanza di coesione sociale (Alietti, 2013), pertanto risulta sempre più necessario per le discipline progettuali indirizzare la propria attenzione verso la riqualificazione degli spazi pubblici urbani per migliorare gli aspetti tangibili della vita sociale nelle città. Dallo sviluppo del primo Pocket Park sulla West 128th Street (New York, USA) nel maggio 1965 (Mees, 2017), piccoli spazi verdi all'interno del tessuto pubblico urbano si sono evoluti dal loro scopo iniziale di ripristino del paesaggio per divenire strumento di rigenerazione urbana (Montipò, 2015).

Pocket Park, Orchard Park e orti urbani possono rafforzare la connessione tra persone e spazi pubblici e promuovere partnership interculturali tra i residenti, grazie ad accessibilità e inclusività. Nella Città di Gaza nel 2014 l'Organizzazione non governativa Dan Church Aid ha collaborato con il MA'AN Development Center a un Programma di massimizzazione della produzione agricola in piccoli spazi, come proposto dalle principali Agenzie internazionali, tra cui la FAO.

I punti di forza di questo Programma risiedono nella sua capacità di rafforzare il rapporto persone-spazi pubblici attraverso l'interazione sociale di quartiere facilitata da tali spazi verdi. Accessibilità e inclusività risultano essere gli elementi chiave del Programma, consentendo a persone di diversa età, background socio-economico e culturale di partecipare attivamente e favorire una maggiore integrazione sociale, oltre che una migliore comprensione reciproca tra i membri della comunità. Al contempo la sua efficacia risulta limitata dalla disponibilità di risorse finanziarie e/o umane, implicando sfide legate alla manutenzione degli spazi verdi e alla gestione delle risorse idriche.

L'Agricoltura urbana rappresenta una pratica volta non solo alla produzione di cibo localmente, ma offre anche una serie di benefici per la salute mentale e il benessere; in occasione del concorso Orti per Tutti indetto da Urban Center Bologna (2014-15) sono stati progettati orti urbani (Fig. 1) in piccoli spazi disponibili, finanche sulle coperture delle scuole; grazie all'introduzione di tecnologie innovative questi spazi agricoli urbani di piccole e medie dimensioni forniscono cibo sano a basso costo per i residenti locali, offrendo ai bambini un ambiente verde da coltivare, oltre che l'opportunità di avvicinarsi alla natura: secondo i dati di un esperimento condotto dagli Stati Uniti nel 2004, l'esposizione a un ambiente verde riduce i sintomi di disturbo da deficit di attenzione e ADHD tra i bambini (Kuo and Faber Taylor, 2004); tuttavia il progetto deve affrontare alcune sfide, in particolare quelle della gestione e manutenzione degli orti, specialmente quando si trovano su terreni scollastici: la disponibilità di risorse finanziarie e umane può limitare efficacia e sostenibilità a lungo termine di tali iniziative.

La rigenerazione degli spazi urbani attraverso il sistema del verde può, inoltre, contribuire all'interesse, varietà e attrattività dei quartieri, contra-

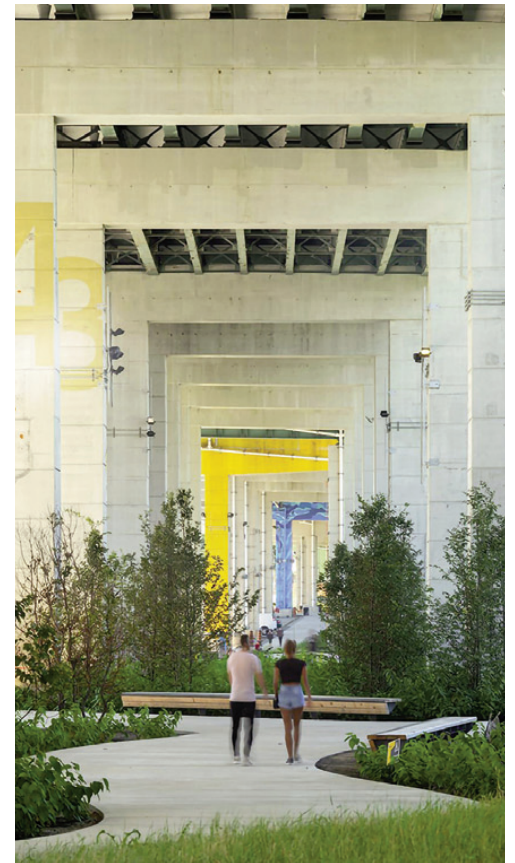


Fig. 1 | The Winner project of the competition 'Orti per Tutti', organised by Urban Center Bologna, Massimo Peota with Paolo Guidotto, Davide Consolati, and Valeria Zamboni (2015) in Bologna, Italy (source: saluspace.eu, 2018).

Fig. 2 | Black Creek Community Farms in Jane and Finch Neighbourhood, Toronto, Canada (source: blackcreekfarm.ca, 2017).

Figg. 3-6 | The Bentway (2018) in Toronto, Canada (credits: N. Lehoux, 2018).

stando la formazione di aree degradate, oltre che di quartieri densi (Simon, 2010). Una tale visione è confermata da molti casi di successo e tra questi quello del Quartiere Jane e Finch (Fig. 2) a Toronto (Canada) che prevede la possibilità di formare volontari per creare impieghi legati allo sviluppo di frutteti comunitari, riducendo disoccupazione giovanile, tasso di vandalismo e criminalità. Tra i punti di forza di questo approccio è la possibilità di coinvolgere attivamente i residenti tramite la formazione di volontari: non solo si contribuisce alla creazione di spazi verdi, ma si offre opportunità di lavoro e sviluppo personale, fornendo cibo fresco e sano a basso costo. Tuttavia potrebbero sorgere difficoltà nell'assicurare un coinvolgimento costante e duraturo della comunità nel tempo, soprattutto se non vengono forniti adeguati sostegni e incentivi.

La disciplina del Design deve concentrarsi maggiormente sul suo potenziale tangibile e immateriale nel contesto della rigenerazione urbana e progettazione dei sistemi alimentari nelle città, implicando un dialogo più stretto con le altre discipline. Dal punto di vista della città resiliente gli spazi urbani abbandonati possono diventare centri per la promozione di resilienza e coesione sociale, creando nuove opportunità per la società post-pandemica per affrontare la salute mentale e le disabilità sociali su una scala diversa.

L'innovativo progetto Bentway (Figg. 3-6), che vede la riqualificazione dello spazio pubblico sotto la Gardiner Expressway a Toronto (Canada), offre resilienti opportunità sociali, fornendo un luogo di incontro per attività educative, artistiche e per scopi culturali nel più ampio contesto del collocamento urbano (Glover et alii, 2021). In primo luogo il Bentway diviene centro pulsante per una vasta gamma di eventi e programmi che coinvolgono residenti e visitatori; questo non solo arricchisce la vita sociale della città, ma promuove appartenenza e inclusione. In secondo luogo il progetto contribuisce alla riqualificazione di spazi urbani sottoutilizzati, trasformandoli in aree vivaci e funzionali: sotto la Gardiner Expressway, un'infrastruttura spesso trascurata, si crea un ambiente stimolante e attraente che valorizza il tessuto urbano circostante.

Il progetto potrebbe incontrare limitazioni e sfide, tra cui questioni di sicurezza e gestione dell'area, date le sue dimensioni e la posizione sotto un'infrastruttura stradale chiave: è importante affrontare i temi su accessibilità e inclusività dell'area, assicurandosi che sia fruibile e accogliente per tutti i membri della comunità. Nonostante tali sfide il progetto Bentway si distingue come un modello di successo per la riqualificazione degli spazi pubblici urbani, offrendo un esempio ispiratore di come creatività e innovazione possano trasformare positivamente le città e migliorare la vita dei loro abitanti.

I casi studio illustrati rispondono a una sempre crescente necessità di rivitalizzare quei luoghi della città (Di Biagi, 1986) che, pur risultando disponibili per l'uso collettivo, hanno una qualità degli spazi inadeguata alle esigenze di coloro che li abitano.

Agricoltura urbana e resilienza sociale | Le città europee hanno sempre cercato risposte ai bisogni alimentari dei loro cittadini per offrire un'alternativa alle forniture esterne. Il fenomeno degli orti

urbani, che risale al Medioevo con l'introduzione dell'Hortus Conclusus (McAvoy, 2015), si pone come strategia di Agricoltura urbana che determina un impatto sul benessere sociale ed emotivo. Gli spazi pubblici possono così divenire nuovi luoghi di interazione grazie alla pratica agricola e gli orti urbani possono fungere da collegamento cognitivo tra popolazioni urbane e produzione alimentare, promuovendo un radicale cambiamento comportamentale per processi decisionali sostenibili (Puigdueta et alii, 2021). I consumatori sono indotti ad abitudini alimentari sostenibili, a riconoscere il rapporto simbiotico con l'ambiente circostante e a rispettare il valore della natura grazie a comportamenti per un utilizzo tecnologico ed energetico responsabile, creando ad esempio feedback positivi per la sostenibilità e nuovi posti di lavoro nel settore alimentare.

Con queste finalità la Città di Quito (Ecuador) ha sviluppato il progetto AGRUPAR, basato su un'Agricoltura urbana partecipativa che dal 2002 ha fornito formazione tecnica sulla produzione agricola, imprenditorialità e conoscenze di marketing a più di 21.000 persone (Figg. 7, 8). Il progetto conta quasi 74.000 beneficiari diretti e 114.000 indiretti (Rodríguez Dueñas, 2019), evidenziando come l'Agricoltura urbana contribuisca al benessere sociale, all'inclusività e alla partecipazione attiva. I punti di forza del progetto sono riscontrabili nella formazione tecnica e imprenditoriale di un vasto numero di persone, contribuendo così a migliorare le loro competenze e prospettive di lavoro nel settore agricolo urbano. Inoltre il coinvolgimento di un grande numero di beneficiari diretti e indiretti dimostra l'ampia portata e l'impatto positivo del progetto sulla comunità locale.

Tuttavia si evidenzia come potrebbero rappresentare limiti concreti le necessità di risorse finanziarie e umane per mantenere le attività formative e di supporto nel lungo periodo; in aggiunta potrebbe essere necessario affrontare sfide legate alla sostenibilità ambientale, oltre che alla gestione delle risorse naturali nel contesto urbano. AGRUPAR rappresenta un importante esempio di successo nell'implementazione dell'Agricoltura urbana partecipativa, ma richiede un costante impegno per garantire continuità e sostenibilità nel tempo.

Oggi parchi e piazze possono assumere così un valore progettuale fondamentale, divenendo veri e propri luoghi di resilienza in grado di soddisfare esigenze e servizi sociali, grazie all'Agricoltura urbana e allo stretto rapporto uomo-natura.

Design e cura del verde | Design e natura sono caratterizzati da un rapporto simbiotico, il cui obiettivo è il mantenimento e miglioramento della qualità di vita: durante la pandemia una rinata attenzione verso i rituali dell'abitare ha guidato lo sviluppo di ricerche e pratiche sul 'sistema verde' e all'interno di queste un interesse verso il Design Biofilico (Wilson, 1984; Soga and Gaston, 2016). Come affermava Wilson (1984), la Biofilia può diventare una strategia sostenibile, fornendo luoghi basati sul rapporto uomo-natura e sui benefici che tale relazione apporta alla vita degli individui, al tessuto urbano e alle attuali sfide globali.

Gli Orchard Park si pongono come strumento di riqualificazione territoriale multidisciplinare, in grado di facilitare uno stato di salute comunitario attraverso la promozione di realtà agricole sostenibili

e più responsabili che riconvertano città e comunità (Peruccio and Savina, 2020). L'auto-produzione alimentare si pone infatti come possibile mezzo migliorativo in termini di biodiversità, qualità dell'aria, permeabilità del suolo e gestione delle acque, nonché come facilitatore di un'elevata evo-traspirazione che garantisce raffrescamento, naturale ombreggiamento e abbassamento delle temperature medie in un ambiente costruito (Errante and De Capua, 2023).

La sempre maggiore consapevolezza delle emergenze globali ha guidato le politiche internazionali verso uno sviluppo sostenibile mediante azioni innovative dal punto di vista ecologico, digitale e sociale (UN, 2023). L'innovazione digitale rappresenta un elemento chiave nel processo di transizione nel quale il Design può acquisire una valenza evolutiva volta a un equilibrio tra naturale e artificiale nello spazio urbano, per il raggiungimento degli obiettivi di sostenibilità indicati dall'Unione Europea. Nello specifico la componente agroalimentare si connette da un lato allo sviluppo economico e al benessere della società, dall'altro alla qualità ambientale e a una progettazione urbana più tecnologica e operativa (Tucci and Carlo Ratti Associati, 2023), che sfrutti e integri la nuova frontiera dell'Internet of Nature (IoN; Bellini, Rusca and Paris, 2022), capace di garantire elevate prestazioni. Queste rispondono alla necessità di «[...] mediare tra l'esigenza di innovare e digitalizzare i processi in ottica di transizione ecologica e quella di promuovere la qualità spaziale, il benessere e l'accessibilità ad energia pulita e sostenibile» (Errante and De Capua, 2023, p. 80).

Su tale base i sistemi di produzione agricola locali possono essere implementati dall'applicazione della tecnologia – come orticoltura indoor, coltura idroponica, agricoltura verticale, ecc. – intesa sia come pratica di agricoltura alternativa sia come dispositivi digitali per la Human-Computer Interaction (Hosseinifarhangi et alii, 2019). In tale prospettiva gli studi che esplorano i collegamenti fra nuove tecnologie e città sono focalizzati sulla componente della sensibilità, intesa come capacità di captare e reagire agli input della popolazione mediante un sistema di sensori, permettendo la raccolta di informazioni e di attuatori che agiscono dopo l'elaborazione dei dati raccolti (Bonini et alii, 2019).

Di interesse risulta l'azienda Planet Farms, oggi leader nel settore del vertical farming, con l'obiettivo di proporre alimenti sani prodotti nel rispetto e nella tutela del pianeta. La start-up ha sviluppato un sistema di coltivazione verticale che include tecnologie avanzate come l'intelligenza artificiale, per monitorare la crescita del cibo in tutte le sue fasi e risparmiare acqua e suolo. Tuttavia il punto critico di tale pratica risulta essere il consumo di energia necessario per alimentare tali sistemi, sui quali sono numerosi gli studi per sviluppare tecnologie in grado di efficientare tale aspetto. Ne è diretto esempio il lavoro svolto dall'azienda Hangar Lab in occasione della VertiFarm 2024 a Bologna (Italia), che ha sviluppato un impianto led in grado di illuminare le piantagioni con molteplici lunghezze d'onda, sulla base dell'irraggiamento solare e delle esigenze della pianta.

Orchard Park | Con la realizzazione degli Orchard Park si configurano luoghi in cui la comunità può interagire direttamente con pratiche di agricoltura



Figg. 7, 8 | Project AGRUPAR (2002) in Quito, Ecuador (source: conquito.org.ec, 2019).

sostenibile, estendendo i benefici dell'Agricoltura urbana. Questi spazi, attraverso l'interazione tra tecnologia e natura, possono promuovere un modello di città resiliente, sostenibile e inclusiva, contrastando i fenomeni legati al cambiamento climatico (Negrello et alii, 2022); ne sono un diretto esempio gli Orti Dipinti a Firenze, la Michigan Urban Farming Initiative a Detroit e il Mudchute Park and Farm a Londra.

Orti Dipinti (Figg. 9, 10) rappresenta un progetto situato nel cuore di Firenze, che trasforma un'area urbana abbandonata in un giardino condiviso, promuovendo biodiversità, educazione ambientale e coesione sociale. Avviato nel 2014 da Giacomo Salizzoni, il progetto nasce dalla volontà di creare uno spazio verde autosufficiente all'interno della città che adotti pratiche di permacultura e agricoltura biologica e dove la comunità possa riunirsi per coltivare alimenti da condividere. Tuttavia, nonostante la sua efficacia nel promuovere sostenibilità e coesione sociale, Orti Dipinti è situato in una posizione a visibilità limitata e bassa fruibilità per chi ha specifiche necessità, ostacolando l'accesso alle risorse che offre: espandere il progetto al Visual Design e in altri quartieri e comuni potrebbe creare un modello replicabile a beneficio di più persone.

La Michigan Urban Farming – MUFI (Figg. 11,

12) rappresenta invece un esempio emblematico di come l'agricoltura possa trasformare aree urbane degradate, contribuendo alla rinascita di una comunità. Il progetto si estende su un'area di circa 3 acri nel quartiere North End di Detroit, che ha subito significative difficoltà economiche e sociali a seguito del declino industriale della città. L'iniziativa mira a rispondere a diverse problematiche urbane contemporanee: dalla sicurezza alimentare alla rigenerazione urbana, dall'educazione ambientale alla promozione del volontariato e dell'impegno civico.

Attraverso la conversione di terreni incolti in aree agricole produttive il progetto agisce anche come catalizzatore per il cambiamento sociale e ambientale: la produzione agricola viene distribuita gratuitamente tra i residenti locali e attraverso mercati agricoli, contribuendo significativamente a ridurre il problema dei 'food deserts' per quelle aree urbane dove l'accesso a cibo fresco e a prezzi accessibili è limitato o assente. Oltre alla produzione di cibo la MUFI si impegna in attività di educazione ambientale e sostenibilità, offrendo workshop, programmi educativi e opportunità di volontariato per persone di tutte le età, migliorando sicurezza alimentare, favorendo consapevolezza ecologica, responsabilità individuale e collettiva verso l'ambiente e stimolando l'innovazione nell'Agricoltura urbana.

Come organizzazione no-profit, affidarsi esclusivamente al coinvolgimento dei volontari è un punto di forza del progetto, poiché si basa sulla loro volontà di partecipare e sentirsi coinvolti nelle iniziative locali; tuttavia ciò può anche rappresentare un limite a causa della natura occasionale della forza lavoro, che può influire sulla continuità ed efficacia delle attività agricole ed educative. In questo senso la creazione di posti di lavoro potrebbe apportare un valore significativo per garantire la sostenibilità sociale del progetto; parallelamente MUFI potrebbe espandere la propria distribuzione a un mercato più vasto, sviluppando una linea di prodotti derivati dalla sua produzione locale, che potrebbe essere venduta per generare entrate sostenibili nel lungo periodo e incoraggiare la comunità a fare scelte consapevoli.

La presenza di Orchard Park in contesti urbani si configura come un'interfaccia vitale tra ambiente naturale e tessuto antropico, contribuendo anche a biodiversità, qualità dell'aria e mitigazione dei fenomeni di isola di calore urbano. Tale approccio è riscontrabile nella Mudchute Park and Farm (Fig. 13) che si estende su 32 ettari nel mezzo di Isle of Dogs, nel cuore dell'East London. Considerata una delle più grandi fattorie urbane del Regno Unito, Mudchute rappresenta un'oasi verde con animali da fattoria e biodiversità che contrasta lo skyline moderno di Canary Wharf poco distante. Fondata negli anni '70 grazie agli sforzi della comunità locale che si oppose ai piani di sviluppo edilizio, Mudchute è oggi un Ente caritatevole dedicato all'educazione e al benessere della comunità, la cui fattoria ospita una varietà di animali che offre ai visitatori l'opportunità di interagire direttamente con il mondo rurale. Mudchute include inoltre spazi verdi vasti e diversificati, dai pascoli aperti alle zone umide, habitat per numerose specie di flora e fauna selvatica, spazi che offrono rifugio alla biodiversità locale, ma che fungono anche da area ricreativa.

Le considerazioni fin qui riportate presuppongono una visione olistica dei luoghi, modelli di intervento urbano e sviluppo umano atti a offrire opportunità di impegno e partecipazione per i cittadini nella creazione e gestione dei luoghi. L'integrazione di aree urbane comunitarie destinate ai temi del cibo risulta fondamentale per l'applicazione di strategie di Eco-social Design che incrementano abitudini sostenibili e virtuose, contribuendo a migliorare il microclima delle città, mantenere la biodiversità e abbattere i costi di trasporto e conservazione del cibo, implementando politiche di gestione di spazi verdi pubblici rivolti alla collettività (Citarella, 2016).

Riflessioni conclusive | Il giardino biblico dell'Eden rappresenta un archetipo universale che ha attraversato le culture e le epoche, evocando un luogo felice perduto; da questa suggestione il presente lavoro si propone di unire una dimensione pratico-funzionale con una dimensione sociale. Infatti l'ipotesi centrale di analisi è riscontrabile nel recupero di spazi urbani abbandonati attraverso la creazione di piccoli frutteti che fungono sia da fonti di cibo e luoghi di accoglienza sia da centri per l'integrazione sociale.

Attraverso un confronto tra i diversi approcci e sistemi attualmente in uso si possono delineare nuove pratiche che favoriscano una stretta interconnessione uomo-spazio-natura, integrando obiet-

tivi funzionali e sociali. I casi studio analizzati dimostrano come l'adozione di politiche alimentari urbane, allineate agli SDGs, favorisca il recupero di aree dismesse delle città, promuovendo spazi verdi e soluzioni digitali innovative. Tuttavia sono presenti diverse barriere da superare, come la mancanza di consapevolezza e di accesso alle risorse necessarie da parte delle comunità locali, oltre che ostacoli legislativi e burocratici.

L'introduzione dell'Agricoltura urbana negli spazi verdi cittadini risulta di particolare interesse poiché contribuisce all'innovazione attraverso l'educazione dei consumatori sulle alternative all'acquisto di prodotti dalla grande distribuzione organizzata, promuovendo scelte più consapevoli e responsabili. Oltre agli aspetti estetici la partecipazione attiva dei cittadini nelle iniziative di rigenerazione urbana non solo offre nuove opportunità di lavoro, ma contribuisce anche ad arricchire il valore emotivo degli spazi comunitari, migliorando la coesione sociale e definendo nuovi processi di connessione nel tessuto urbano.

Particolarmente rilevante è il potenziale di questi spazi verdi per essere punti nevralgici per l'aggregazione sociale e attrattivi per persone di tutte le età, dai giovani agli anziani. L'aspetto del design per il sociale si estende anche all'inclusione dei soggetti emarginati, che possono trovare negli orti urbani un passatempo, intraprendendo attività di volontariato, e un'opportunità di impiego. Pertanto gli orti urbani vanno considerati non solo come spazi di pratica educativa, ma anche come veri e propri centri di vita comunitaria e di lavoro collaborativo in grado di aiutare chi si trova in situazioni emergenziali.

In questo contesto il cibo diviene tema centrale per la costruzione di luoghi d'incontro e connessione all'interno delle comunità urbane. Le azioni per superare le barriere e massimizzare i vantaggi delle pratiche di Agricoltura urbana includono così la sensibilizzazione della comunità, la semplificazione dei processi burocratici e l'accesso a finanziamenti e risorse, promuovendo politiche pubbliche che favoriscano la creazione e la gestione di spazi verdi urbani sostenibili.

Food supply and social cohesion are central to urban development in future scenarios. The visible impact of climate change and recent global conflicts on agricultural systems is leading to declining agricultural productivity, threats to health and food security (BCFN and MUFPP, 2018). At the same time, the increasing development of cities and the depopulation of villages and agricultural areas make food problems a significant emergency. World Population Prospects (United Nations, 2022) estimates that by 2050, two-thirds of the world's population will live in cities, a phenomenon that will predominantly affect countries such as India, China and Nigeria, and this will result in an increase in global demand for agricultural products, placing a more significant burden on food distribution systems.

Disruptions to the food system in large cities, the closure of housing estates and the shortage of daily food supplies highlight the lack of proper emer-

gency management in urban contexts. Therefore, it is necessary to establish production chains that allow cities a minimum level of food self-sufficiency through agricultural production methods that involve the urban level. Planners must rethink city spaces to integrate food system components to the urban spatial transition, as highlighted by the objectives of the European Green Deal (European Commission, 2019) or UN Sustainable Development Goal No. 11 (UN, 2023).

This study aims to promote new urban regeneration approaches through the design by activating inhabitants of community gardens for food production and integrating social initiatives. The aim is to develop an advanced form of green space, Orchard Park (Kimic, 2019), that respects 'planetary boundary' (Rockström et alii, 2009) principles and employs Human-Computer Interaction technologies, thus improving the integration and sustainability of such urban spaces. These micro-food areas – managed with advanced technologies – promote sustainable and resilient food consumption, reduce supply distances, limit waste, promote wider access to food, and contribute to social cohesion by acting as a bridge between emergencies and active citizenship. Urban Agriculture emerges as a tool to promote awareness and enhance a new cultural identity in the context of sustainable, social and environmental challenges (Betz, Mills and Farmer, 2017).

A study of the literature and the state of the art on urban regeneration applied to agricultural production reveals a marked interest in urban orchard models. The potential for transforming residual urban spaces is highlighted by analysing relevant case studies (such as Orti Dipinti in Florence, Mud-

chute Farm in London, and Michigan Urban Farming Initiative in Detroit). Studies exploring the relationship between Urban Agriculture and technology indicate the opportunity for innovation to create greater community engagement (Lyle, Choi and Foth, 2013); indeed, technology can be used to support distributed food networks and democratic governance structures that manage food production and distribution (Norton et alii, 2017).

This work consists of developing an innovative model that integrates the concept of an urban orchard with that of a Pocket Park, promoting an environment of community cooperation and interaction. The proposed model's originality lies in its ability to combine Biophilic Design, which encourages a direct connection between the urban environment and nature, with the use of new technologies and Social Design practices. Thus, it facilitates the creation of human-nature connections, making the model under analysis a significant example of innovation in the field of urban regeneration.

The research methodology will consist of an in-depth literature review and the application of the functional analysis method to examine the adoption of new technologies to improve social and environmental sustainability in urban areas. These issues will constitute the main sections of the paper.

Food and cities | From the North to the South, Urban Agriculture and related food policies are increasingly becoming relevant in defining new scenarios. The 2013 Bonn Declaration of Mayors – held at the ICLEI Resilient City Congress in Bonn on 2 June 2013 – highlighted the need for local governments to implement a holistic approach to the development of urban food systems in order to en-



Fig. 9, 10 | Orti Dipinti (2014) in Florence, Italy (source: italiachecambia.org, 2020).



Fig. 11, 12 | Michigan Urban Farming (2011) in Detroit, USA (source: miufi.org, 2013).

sure greater food security, urban resilience and adaptation, contributing to poverty eradication and protecting local biodiversity (Mendle, 2015). Urban Agriculture transcends academia and becomes a political objective that can be implemented through tailor-made Local Strategies and Plans and a design tool for a multifunctional activity for socio-environmental and socio-spatial issues (Attiani, 2012), contributing to equity and social cohesion.

The importance of this practice is also enshrined in the Milan Urban Food Policy Pact (October 2015; Tegoni and Licomati, 2017) – signed by 260 cities around the world – which recognises the active role that farmers and small-scale producers play in providing food for fair trade. The pact identifies new development opportunities for urban and peri-urban agriculture, defining innovative links between food security and climate change and identifying five key actions: 1) engagement with stakeholders for an enabling environment; 2) promotion of healthy food; 3) equitable access to food; 4) promotion of rural-urban food production and sourcing; and 5) reduction of food waste.

As stated in the 2030 Agenda (UN, 2015), inclusive growth and sustainable development are fundamental to achieving the 17 Sustainable De-

velopment Goals (SDGs), which include key concepts for accessibility and the reduction of inequality in cities and communities. In particular, Goal No. 2 (Zero Hunger) emphasises everyone's right to have enough food throughout the year, including through sustainable agriculture and new food production systems.

The Food and Agriculture Organisation of the United Nations (FAO; Segre et alii, 2013) in 2011 pointed out that by 2050 we will have an increase in food demand of about 60 per cent; in 2019 (Marino et alii, 2020) it recognises the importance of Urban Agriculture in its recent framework for the Urban Food Agenda, emphasising the multifunctional capacity of this practice to provide fresh food and meet basic nutritional needs through growing fruit and vegetables, bringing numerous health benefits and improving food security.

The role of urban spaces | The poor quality of urban spaces is closely related to the lack of social cohesion (Alietti, 2013). It is increasingly necessary for design disciplines to direct their attention towards the redevelopment of urban public spaces in order to improve the tangible aspects of social life in cities. Since the development of the first Pock-

et Park on West 128th Street (New York, USA) in May 1965 (Mees, 2017), small green spaces within the urban public fabric have evolved from their initial purpose of landscape restoration to become an instrument of urban regeneration (Montipò, 2015).

Pocket Parks, Orchard Parks and urban gardens can strengthen the connection between people and public spaces and promote intercultural partnerships among residents through accessibility and inclusiveness. In the City of Gaza in 2014, the non-governmental organisation Dan Church Aid collaborated with the MA'AN Development Centre on a Programme to maximise agricultural production in small spaces, as proposed by leading international agencies, including the FAO.

The strengths of this programme lie in its ability to strengthen the people-public space relationship through neighbourhood social interaction facilitated by such green spaces. Accessibility and inclusiveness are key elements of the programme, allowing people of different ages and socio-economic and cultural backgrounds to participate actively and fostering greater social integration and mutual understanding among community members. At the same time, however, its effectiveness is limited by the availability of financial and/or human resources, implying challenges related to maintaining green spaces and water management.

Urban Agriculture is a practice that not only contributes to food production locally, but also offers many benefits for mental health and well-being. On the occasion of the Gardens for All competition organised by Urban Center Bologna (2014-15), urban gardens (Fig. 1) were designed in small spaces available even on the roofs of schools. Thanks to the introduction of innovative technologies, these small and medium-sized urban agricultural spaces provide healthy food at low cost for residents, offering children a green environment to cultivate as well as the opportunity to get closer to nature: according to data from an experiment conducted in the United States in 2004, exposure to a green environment reduces symptoms of attention deficit disorder and ADHD among children (Kuo and Faber Taylor, 2004). However, the project might face some challenges, particularly concerning the management and maintenance of the gardens, mainly when they are located on school grounds. Financial and human resources availability might influence such initiatives' long-term effectiveness and sustainability.

The regeneration of urban spaces through the green system can also contribute to the interest, variety and attractiveness of neighbourhoods, counteracting the formation of degraded areas, as well as dense neighbourhoods (Simon, 2010). Many successful cases confirm this view, and among these is that of the Jane and Finch neighbourhood (Fig. 2) in Toronto (Canada), which provides for the training of volunteers to create jobs related to the development of community orchards, reducing youth unemployment, vandalism and crime rates. Among the strengths of this approach is the possibility of actively involving residents through the training of volunteers, which not only contributes to the creation of green spaces, but also provides opportunities for employment and personal development by providing fresh, healthy food at low cost. However, difficulties may arise in ensuring continued and sustained community involvement over time, mainly if adequate support and incentives are not provided.

The discipline of Design needs to focus more on its tangible and intangible potential in the context of urban regeneration and the design of food systems in cities, implying a closer dialogue with other disciplines. From the perspective of the resilient city, abandoned urban spaces can become centres for promoting resilience and social cohesion, creating new opportunities for post-pandemic society to address mental health and social skills on a different scale.

The innovative Bentway project (Fig. 3-6), which sees the redevelopment of the public space under the Gardiner Expressway in Toronto (Canada), offers resilient social opportunities by providing a meeting place for educational, artistic and cultural activities in the broader context of urban placement (Glover et alii, 2021). First, the Bentway becomes a hub for a wide range of events and programmes involving residents and visitors. This not only enriches the social life of the city, but also promotes belonging and inclusion. Secondly, the project contributes to redeveloping underused urban spaces, transforming them into vibrant and functional areas. Under the Gardiner Expressway, an often neglected infrastructure, a stimulating and attractive environment enhances the surrounding urban fabric.

The project may encounter limitations and challenges, including issues of safety and management of the area, given its size and location under a key road infrastructure. It is essential to address concerns regarding the accessibility and inclusiveness of the area, ensuring that it is usable and welcoming to all community members. Despite these challenges, the Bentway project stands out as a successful model for redeveloping urban public spaces, offering an inspiring example of how creativity and innovation can positively transform cities and improve the lives of their inhabitants.

There is, therefore, an ever-increasing need to revitalise those places in the city (Di Biagi, 1986) that are available for collective use, but are often in-

versely proportional to their quality and inadequate to the needs of those who inhabit them.

Urban Agriculture and social resilience | European cities have always sought answers to their citizens' food needs to offer an alternative to external supplies. The phenomenon of urban gardens, which dates back to the Middle Ages with the introduction of the Hortus Conclusus (McAvoy, 2015), emerges as a strategy of Urban Agriculture that impacts social and emotional well-being. Through agricultural practice, public spaces can thus become new places of interaction, and urban gardens can act as a cognitive link between urban populations and food production, promoting a radical behavioural change for sustainable decision-making processes (Puigdueta et alii, 2021). Consumers are induced to adopt sustainable eating habits, recognise the symbiotic relationship with the surrounding environment, and respect the value of nature through behaviours for responsible technological and energy use, creating, for example, positive feedback for sustainability and new jobs in the food sector.

With these aims, the City of Quito (Ecuador) developed the AGRUPAR project, based on Participatory Urban Agriculture, which has provided technical training on agricultural production, entrepreneurship and marketing knowledge to more than 21,000 people since 2002 (Fig. 7, 8). The project has almost 74,000 direct and 114,000 indirect beneficiaries (Rodríguez Dueñas, 2019), highlighting how Urban Agriculture contributes to social welfare, inclusivity and active participation. The project's strengths can be found in many people's technical and entrepreneurial training, thus improving their skills and job prospects in the urban agricultural sector. Furthermore, the involvement of a large number of direct and indirect beneficiaries demonstrates the project's broad scope and positive impact on the local community.

However, the need for financial and human re-

sources to maintain the training and support activities in the long term might represent real limitations. Furthermore, challenges related to environmental sustainability and managing natural resources in the urban context may need to be addressed. AGRUPAR is an important example of the successful implementation of participatory Urban Agriculture, but it requires constant efforts to ensure continuity and sustainability over time.

Today, parks and squares can thus take on a fundamental design value, becoming true places of resilience capable of satisfying social needs and services, thanks to Urban Agriculture and the close relationship between man and nature.

Design and Green Care | Design and nature are characterised by a symbiotic relationship, aiming to maintain and improve the quality of life. During the pandemic, a renewed focus on the rituals of living drove the development of Green System research and practices, and within these an interest in Biophilic Design (Wilson, 1984; Soga and Gaston, 2016). As Wilson (1984) stated, Biophilia can become a sustainable strategy by providing places based on the human-nature relationship and the benefits that this relationship brings to the lives of individuals, the urban fabric and current global challenges.

Orchard parks are a multidisciplinary spatial redevelopment tool that can facilitate community health by promoting sustainable and more responsible agricultural realities that redevelop cities and communities (Peruccio and Savina, 2020). Indeed, food self-production stands as a possible means of improvement in terms of biodiversity, air quality, soil permeability and water management, as well as a facilitator of high evo-transpiration that ensures cooling, natural shading and lowering of average temperatures in a built environment (Errante and De Capua, 2023).

The increasing awareness of global emergencies has driven international policies towards sus-



Fig. 13 | Mudchute Park and Farm (1970) in London, United Kingdom (source: mudchute.org).

tainable development through innovative ecological, digital and social actions (UN, 2023). Digital innovation represents a key element in the transition process, in which Design can acquire an evolutionary value aimed at a balance between natural and artificial in urban space, contributing to the achievement of the sustainability goals set by the European Union. Specifically, the agri-food component is connected, on the one hand, to economic development and the well-being of society, and on the other to environmental quality and a more technological and operational urban design (Tucci and Carlo Ratti Associati, 2023), which exploits and integrates the new frontier of the Internet of Nature (IoN; Bellini et alii, 2022), capable of guaranteeing high performance. These respond to the need to «[...] mediate between the need to innovate and digitise processes with a view to ecological transition, and that of promoting spatial quality, well-being and accessibility to clean and sustainable energy» (Errante and De Capua, 2023, p. 80).

On this basis, local agricultural production systems can be implemented by the application of technology – such as indoor horticulture, hydroponics, vertical farming, etc. – understood both as alternative farming practices and as digital devices for Human-Computer Interaction (Hosseinifarhangi et alii, 2019). In this perspective, studies exploring the links between new technologies and cities focus on the component of sensitivity, understood as the ability to pick up and react to population inputs through a system of sensors, allowing the collection of information, and actuators, which act after processing the collected data (Bonini et alii, 2019).

Of interest is the company Planet Farms, now a leader in vertical farming: the start-up offers healthy food produced in a way that respects and protects the planet. The company has developed a vertical farming system with advanced technologies such as artificial intelligence (AI) to monitor food growth at all stages and save water and soil. However, the critical point of this practice is the energy consumption required to power such systems, and numerous studies have been conducted to develop technologies capable of making this aspect more efficient. A direct example is the work by Hangar Lab at VertiFarm 2024 in Bologna (Italy), which has developed an LED system capable of illuminating plantations with multiple wavelengths based on solar radiation and the plant's needs.

Orchard Parks | Orchard Parks provide places where the community can interact directly with sustainable farming practices, extending the benefits of Urban Agriculture. These spaces can promote a resilient, sustainable and inclusive city model through the interaction between technology and nature, counteracting climate change phenomena (Negrello et alii, 2022). Direct examples are the Painted Gardens in Florence, the Michigan Urban Farming Initiative in Detroit and the Mudchute Park and Farm in London.

Orti Dipinti (Figg. 9, 10) is a project located in the heart of Florence that transforms an abandoned urban area into a shared garden, promoting biodiversity, environmental education and social cohesion. Initiated in 2014 by Giacomo Salizzoni, the project stems from the desire to create a self-sufficient green space within the city that adopts permaculture and organic farming practices, where the community can come together to grow food to

share. However, despite its effectiveness in promoting sustainability and social cohesion, Orti Dipinti has limited visibility and low usability for those with specific needs, hindering access to the resources it offers. Expanding the project to Visual Design and other neighbourhoods and municipalities could create a replicable model that benefits more people.

Michigan Urban Farming – MUFI (Figg. 11, 12) is an emblematic example of how agriculture can transform degraded urban areas, contributing to the rebirth of a community. The project covers an area of approximately 3 acres in Detroit's North End neighbourhood, which has suffered significant economic and social hardship due to the city's industrial decline. The initiative aims to address several contemporary urban issues: from food security to urban regeneration, from environmental education to the promotion of volunteerism and civic engagement.

By converting uncultivated land into productive agricultural areas, the project also acts as a catalyst for social and environmental change: agricultural produce is distributed free of charge among residents and through farmers' markets, contributing significantly to reducing the problem of 'food deserts', urban areas where access to fresh and affordable food is limited or absent. In addition to food production, MUFI engages in environmental education and sustainability activities, offering workshops, educational programmes and volunteer opportunities for people of all ages, improving food security, fostering ecological awareness, individual and collective responsibility towards the environment, and stimulating innovation in Urban Agriculture.

As a non-profit organisation, the strength of the project is its reliance exclusively on volunteers, as it relies on their willingness to participate and feel involved in local initiatives. However, this can also be a limitation due to the unstable nature of the workforce, which can affect the continuity and effectiveness of agricultural and educational activities. Therefore, job creation could bring significant value in ensuring the social sustainability of the project. Furthermore, MUFI could expand its distribution to a wider market by developing a line of products derived from its local production, with products that could be sold to generate sustainable income in the long run and encourage the community to make informed choices.

The presence of Orchard Parks in urban settings acts as a vital interface between the natural environment and the anthropic fabric, also contributing to biodiversity, air quality, and mitigation of urban heat island phenomena. This approach can be seen at Mudchute Park and Farm (Fig. 13), which covers 32 hectares in the middle of Isle of Dogs in the heart of East London. Considered one of the largest urban farms in the UK, Mudchute represents a green oasis with farm animals and biodiversity that contrasts with the modern skyline of Canary Wharf not far away. Founded in the 1970s through the efforts of the local community who opposed plans for housing development, Mudchute is now a charitable organisation dedicated to community education and welfare, whose farm is home to various animals, offering visitors the opportunity to interact directly with the rural world. Mudchute also includes vast and diverse green spaces, from open pastures to wetlands, habitats for numerous species of wildlife; these spaces provide refuge for

local biodiversity and serve as a recreational area.

The above considerations presuppose a holistic vision of places, urban intervention and human development models that offer opportunities for citizen engagement and participation in creating and managing places. The integration of community urban areas dedicated to food issues is fundamental for the application of Eco-social Design strategies that increase sustainable and virtuous habits, helping to improve the city's microclimate, maintain biodiversity and reduce food transport and storage costs by implementing community-oriented public green space management policies (Citarella, 2016).

Concluding remarks | The biblical Garden of Eden represents a universal archetype that has crossed cultures and epochs, evoking a lost happy place. From this suggestion, the present work combines practical-functional and social dimensions. In fact, the central hypothesis of analysis can be found in the recovery of abandoned urban spaces by creating small orchards (Orchard Parks) that function both as sources of food and places of welcome and as centres for social integration.

By comparing different approaches and systems currently in use, new practices can be outlined that foster a close human-space-nature interconnection, integrating functional and social objectives. The analysed case studies show how adopting urban food policies aligned with the SDGs favours the rehabilitation of city brownfield areas, promoting green spaces and innovative digital solutions. However, several barriers must be overcome, such as local communities' lack of awareness and access to the necessary resources, as well as legislative and bureaucratic hurdles.

The introduction of Urban Agriculture in city green spaces is, therefore, of particular interest as it contributes to innovation by educating consumers about alternatives to buying products from large-scale organised distribution, promoting more conscious and responsible choices. Besides the aesthetic aspects, the active participation of citizens in urban regeneration initiatives not only offers new job opportunities, but also contributes to enriching the emotional value of community spaces, improving social cohesion and defining new connection processes in the urban fabric.

Particularly relevant is the potential of these green spaces to be focal points for social gatherings and attractive to people of all ages, from the young to the elderly. The social design aspect also includes marginalised individuals, who can find a pastime in urban gardens, undertake voluntary activities, and have employment opportunities. Therefore, urban gardens should be considered spaces for educational practice and centres of community life and collaborative work that can help those in emergencies.

In this context, food becomes a central theme for building places to meet and connect within urban communities. Actions to overcome barriers and maximise the benefits of Urban Agriculture practices thus include raising community awareness, simplifying bureaucratic processes, accessing funding and resources, and promoting public policies that favour creating and managing sustainable urban green spaces.

References

- Alietti, A. (2013), “Spazi urbani, disuguaglianze e politiche di coesione sociale – Un nuovo paradigma neoliberista?”, in *Theomai*, vol. 27-28, pp. 4-15. [Online] Available at: redalyc.org/pdf/124/12429901001.pdf [Accessed 24 April 2024].
- Attiani, C. (2012), “L’Agricoltura Urbana”, in *Sociologia Urbana e Rurale*, vol. 98, pp. 73-89. [Online] Available at: torrossa.com/en/resources/an/2504776 [Accessed 15 March 2024].
- BCFN and MUFPP (2018), *Food and Cities – The role of cities for achieving the sustainable development goals*. [Online] Available at: foodpolicymilano.org/wp-content/uploads/2019/10/food_cities.pdf [Accessed 18 March 2024].
- Bellini, O. E., Ruscica, G. and Paris, V. (2022), “Verso una nuova ecologia dell’abitare condiviso – Verde tecnologico e Internet of Nature | Towards a new ecology of shared living – Technological greenery and the Internet of Nature”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 11, pp. 124-135. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/11112022 [Accessed 18 March 2022].
- Betz, M., Mills, J. and Farmer, J. (2017), “A Preliminary Overview of Community Orchard in the United States”, in *Journal of Agriculture, Food Systems, and Community Development*, vol. 7, issue 2, pp. 13-28. [Online] Available at: doi.org/10.5304/jafscd.2017.072.002 [Accessed 18 March 2024].
- Bonini, V., Galelli, P., Minetto, A., Delponte, I. and Morbiducci, R. (2019), “Effects of the digital transformation on the contemporary city project”, in *Tema | Technologies, Engineering, Materials and Architecture*, vol. 5, issue 1, pp. 61-71. [Online] Available at: doi.org/10.17410/tema.v5i1.215 [Accessed 18 March 2024].
- Citarella, G. (2016), “L’orto urbano come strumento per una gestione collettiva e responsabile del verde pubblico”, in *Commons/Comune – Geografie, luoghi, spazi, città – Giornata di studio della Società di Studi Geografici Roma, 11 dicembre 2015*, serie Memorie Geografiche, no. 14, Società di Studi Geografici, Firenze, pp. 193-198. [Online] Available at: societastudiogeografici.it/wp-content/uploads/2019/12/Memorie_Geografiche_2016.pdf [Accessed 18 March 2024].
- Di Biagi, P. (1986), “La città pubblica | The public city”, in *Urbanistica*, vol. 85, pp. 6-25.
- Errante, L. and De Capua, A. (2023), “Progettazione tecnologica per la transizione ambientale della città – Opportunità di innovazione | Technological design for the environmental transition of the city – Opportunities for innovation”, in *Techné | Journal of Technology for Architecture and Environment*, vol. 26, pp. 78-85. [Online] Available at: doi.org/10.36253/techné-14484 [Accessed 18 March 2024].
- European Commission (2019), *Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – The European Green Deal*, document 52019DC0640, 640 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN [Accessed 18 March 2024].
- Glover, T. D., Munro, S., Men, I., Loates, W. and Altman, I. (2021), “Skateboarding, gentle activism, and the animation of public space – CITE – A Celebration of Skateboard Arts and Culture at The Bentway”, in *Leisure Studies*, vol. 40, issue 1, pp. 42-56. [Online] Available at: doi.org/10.1080/02614367.2019.1684980 [Accessed 18 March 2024].
- Hosseinifarhangi, M., Turvani, M. E., van der Valk, A. and Carsjens, G. J. (2019), “Technology-Driven Transition in Urban Food Production Practices – A Case Study of Shanghai”, in *Sustainability*, vol. 11, issue 21, article 6070, pp. 1-31. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su11216070 [Accessed 18 March 2024].
- Kimic, K. (2019), “Orchard as a special element of an urban park – History and the present”, in *Teka Komisji Urbanistyki i Architektury Oddziału Polskiej Akademii Nauk w Krakowie*, vol. 47, pp. 163-174. [Online] Available at: doi.org/10.24425/tkuia.2019.131172 [Accessed 18 March 2024].
- Kuo, F. E. and Faber Taylor, A. (2004), “A potential natural treatment for attention-deficit / hyperactivity disorder – Evidence from a national study”, in *American Journal of Public Health*, vol. 94, issue 9, pp. 1580-1586. [Online] Available at: ajph.aphapublications.org/doi/epub/10.2105/AJPH.94.9.1580 [Accessed 18 March 2024].
- Lyle, P., Choi, J. H.-J. and Foth, M. (2013), “HCI for city farms – Design challenges and opportunities”, in Kotzé, P., Marsden, G., Lindgaard, G., Wesson, J. and Winckler, M. (eds), *Human-Computer Interaction | INTERACT 2013 | 14th IFIP TC 13 International Conference, Cape Town, South Africa, September 2-6, 2013 – Proceedings, Part IV*, Springer Berlin, Heidelberg, pp. 109-116. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-642-40498-6_7 [Accessed 18 March 2024].
- Marchigiani, E., Basso, S. and Di Biagi, P. (2017), *Esperienze urbane – Spazi pubblici e città contemporanea*, EUT-Edizioni Università di Trieste, Trieste.
- Marino, D., Antonelli, M., Fattibene, D., Mazzocchi, G. and Tarra, S. (2020), *Cibo, città, sostenibilità – Un tema strategico per l’Agenda 2030*, ASVIS, Roma. [Online] Available at: iris.uniroma1.it/handle/11573/1477879?mode=complete [Accessed 22 April 2024].
- McAvoy, L. H. (2015), “The Medieval Hortus Conclusus – Revisiting the Pleasure Garden”, in *Medieval Feminist Forum | A Journal of Gender and Sexuality*, vol. 50, issue 1, pp. 5-10. [Online] Available at: scholarworks.wmich.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1976&context=mff [Accessed 18 March 2024].
- Mees, C. (2017), “The Emergence of Community Gardens in New York with Focus on the South Bronx”, in Mees, C. (ed.), *Participatory Design and Self-building in Shared Urban Open Spaces – Community Gardens and Casitas in New York City*, Springer, Cham, pp. 75-111. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-319-75514-4_4 [Accessed 18 March 2024].
- Mendle, R. S. (2015), “Food Systems on the City Agenda”, in *Urban Agriculture Magazine*, vol. 29, pp. 12-13. [Online] Available at: ruaf.org/document/urban-agriculture-magazine-no-29-city-region-food-systems/ [Accessed 23 April 2024].
- Montipò, C. (2015), “Piccoli spazi urbani e micro-identità – Le politiche di pocket parks come strumenti di rigenerazione della città pubblica”, in *UrbanisticaTre*, 08/04/2015. [Online] Available at: urbanisticatre.uniroma3.it/rubrica/piccoli-spazi-urbani-e-micro-identita/ [Accessed 18 March 2024].
- Negrello, M., Roccaro, D., Santus, K. and Spagnolo, I. (2022), “Progettare l’adattamento – Resilienze di agricoltura urbana nel contesto europeo | Design the adaptation – The Resilience of urban agriculture in the European context”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 11, pp. 74-83. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1162022 [Accessed 18 March 2024].
- Norton, J., Raturi, A., Nardi, B., Prost, S., McDonald, S., Pargman, D., Bates, O., Normark, M., Tomlinson, B., Herbig, N. and Dombrowski, L. (2017), “A grand challenge for HCI – Food + sustainability”, in *Interactions*, vol. 24, issue 6, pp. 50-55. [Online] Available at: doi.org/10.1145/3137095 [Accessed 18 March 2024].
- Peruccio, P. P. and Savina, A. (2020), “La progettazione di un network territoriale tra cibo, salute e design | The planning of a territorial network among food, health and design”, in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 8, pp. 262-271. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/8252020 [Accessed 18 March 2024].
- Puigdueta, I., Aguilera, E., Cruz, J. L., Iglesias, A. and Sanz-Cobena, A. (2021), “Urban agriculture may change food consumption towards low carbon diets”, in *Global Food Security*, vol. 28, article 100507, pp. 1-21. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.gfs.2021.100507 [Accessed 18 March 2024].
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S., Lambin, E., Lenton, T. M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H. J., Nykvist, B., de Wit, C. A., Hughes, T., van der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P. K., Costanza, R., Svedin, U., Falkenmark, M., Karlberg, L., Corell, R. W., Fabry V. J., Hansen, J., Walker, B., Liverman, D., Richardson, K., Crutzen, P. and Foley, J. (2009), “Planetary Boundaries – Exploring the Safe Operating Space for Humanity”, in *Ecology and Society*, vol. 14, issue 2, article 32, pp. 1-33. [Online] Available at: jstor.org/stable/26268316 [Accessed 18 March 2022].
- Rodríguez Dueñas, A. (2019), “How the municipality of Quito supports vulnerable city dwellers through urban agriculture”, in *Field Actions Science Reports | The Journal of Field Actions*, special issue 20, pp. 26-31. [Online] Available at: journals.openedition.org/factsreports/5641 [Accessed 18 March 2022].
- Segrè, A., Falasconi, L. and Bellettato, C. (2013), “Acqua virtuale nella dieta, nella spesa, nello spreco alimentare”, in Antonelli, M. and Greco, F. (eds), *L’acqua che mangiamo – Cos’è l’acqua virtuale e come la consumiamo*, Edizioni Ambiente, Milano, pp. 103-114.
- Simon, C. (2010), *Piccoli spazi urbani – Indicazioni per aree gioco di qualità | Small Urban Spaces – Programming for good tot lots*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna.
- Soga, M. and Gaston, K. J. (2016), “Extinction of experience – The loss of human-nature interactions”, in *Frontiers in Ecology and the Environment*, vol. 14, issue 2, pp. 94-101. [Online] Available at: doi.org/10.1002/fee.1225 [Accessed 18 March 2022].
- Tegoni, C. and Licomati, S. (2017), “The Milan Urban Food Policy Pact – The potential of food and the key role of cities in localizing SDGs”, in *JUNCO | Journal of Universities and International Development Cooperation*, vol. 1, issue 1, pp. 372-378. [Online] Available at: doi.org/10.13135/2531-8772/2173 [Accessed 22 April 2024].
- Tucci, G. and Carlo Ratti Associati (2023), “La tecnologia come abilitatore di un nuovo ecosistema urbano responsivo – Intervista a Carlo Ratti (CRA Studio) | Technology as an enabler of a new ecosystem responsive urbanism – Interview with Carlo Ratti (CRA Studio)”, in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 12, pp. 190-201. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/12172022 [Accessed 18 March 2024].
- UN – General Assembly (2015), *Transforming our World – The 2030 Agenda for Sustainable Development*, document A/RES/70/1. [Online] Available at: sdgs.un.org/2030agenda [Accessed 18 March 2024].
- UN – United Nations (2023), *The Sustainable Development Goals Report – Special Edition*. [Online] Available at: unstats.un.org/sdgs/report/2023/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2023.pdf [Accessed 18 March 2024].
- United Nations – Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2022), *World Population Prospects 2022 – Summary of Results*, UN DESA/POP/2022/TR/NO.3. [Online] Available at: un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/wpp2022_summary_of_results.pdf [Accessed 18 March 2024].
- Wilson, E. O. (1984), *Biophilia – The Human Bond with Other Species*, Harvard University Press, Cambridge. [Online] Available at: archive.org/details/edward-o.-wilson-biophilia/page/71/mode/2up [Accessed 18 March 2022].

ARTICLE INFO

Received	18 March 2024
Revised	19 April 2024
Accepted	25 April 2024
Published	30 June 2024

TECNOLOGIA, ENERGIA E TEMPO

Percorsi sperimentali
per il design di tecnologie appropriate

TECHNOLOGY, ENERGY, AND TIME

Experimental paths
for the design of appropriate technology

Anna Paola Vacanti, Carmelo Leonardi

ABSTRACT

Esplorando l'intreccio tra tecnologia, energia e tempo dalla rivoluzione industriale alla crisi climatica attuale il paper indaga come l'incessante ricerca di efficienza e produttività abbia plasmato le società occidentali, incrementando il sovraconsumo energetico e aggravando le emergenze ambientali. Attraverso l'analisi di movimenti sperimentali legati al concetto di tecnologie appropriate come la Permacultura, il Low-tech e il Solarpunk si intende proporre una visione critica del modello di sviluppo contemporaneo ormai insostenibile, proponendo paradigmi alternativi che favoriscono sostenibilità, equità e una riconnessione con i cicli naturali. L'approccio multidisciplinare del Design emerge come strumentale nella transizione verso pratiche energetiche sostenibili, ponendo le basi per la transizione verso scenari futuri in cui tecnologia e natura coesistano armoniosamente.

Exploring the intertwining of technology, energy, and time from the Industrial Revolution to the current climate crisis, the paper investigates how the relentless pursuit of efficiency and productivity has shaped Western societies, increasing energy overconsumption and exacerbating environmental emergencies. Analysing experimental paths related to the concept of appropriate technology, such as Permaculture, Low-tech and Solarpunk, a critical view of the contemporary unsustainable development model is presented, proposing alternative paradigms that foster sustainability, equity and reconnection with natural cycles. The multidisciplinary design approach emerges as instrumental in the transition to sustainable energy practices, laying the foundation for the transition to future scenarios in which technology and nature coexist harmoniously.

KEYWORDS

consumo energetico, tecnologie appropriate, low-tech, permacultura, solarpunk

energy consumption, appropriate technology, low-tech, permaculture, solarpunk



Anna Paola Vacanti, PhD and Researcher at the 'Iuav' University of Venezia (Italy), works on human-technology interaction, exploring the intersection between human factors, technological development and the latter's social and ecological impact. Parallel to her academic career, since 2018, she has organised TEDxGenova, an autonomous event operating under an official TED license for the local dissemination of valuable ideas. E-mail: avacanti@iuav.it

Carmelo Leonardi is a Product Designer and PhD Candidate in Design Sciences at the 'Iuav' University of Venezia (Italy). In the context of the PhD Programme, he conducts research on the energy transition, simultaneously exploring new design paradigms and the concepts of social and environmental sustainability in the design. | E-mail: cleonardi@iuav.it

Tecnologia, energia, tempo: dalla rivoluzione industriale in poi questi tre elementi della vita moderna si sono inestricabilmente intrecciati, al punto che l'artificializzazione del contesto naturale, l'accesso continuo all'energia, e la gestione del tempo lineare sono dati per scontati, come caratteristiche 'naturali' della quotidianità. La mentalità occidentale si è evoluta verso una concezione del tempo come bene, favorendo l'individualismo, la competizione e l'economia di mercato. In effetti molte delle caratteristiche che tendiamo a considerare universalmente appannaggio della natura umana sono al contrario storicamente e culturalmente specifiche soltanto delle comunità occidentali (Henrich, 2022).

Il nostro rapporto con il tempo è peculiare nei termini in cui siamo spinti a sfruttarlo al massimo, impiegando ogni minuto in attività ritenute produttive, sfuggendo ozio e noia come valori negativi. Di conseguenza si è plasmato il contesto tecnologico a cui siamo simbioticamente legati: prodotti e servizi fisici e digitali sono sempre accessibili, di giorno e di notte: affinché lo siano, il flusso di energia che li alimenta deve necessariamente essere ininterrotto. Il tempo così inteso non è abitabile; è un flusso trascinate che non offre appigli, in cui le persone sono immerse e precipitano in avanti (Han, 2022).

Oggi, il rapido evolversi della crisi climatica ci pone di fronte a nuove emergenze e urgenze e a un necessario confronto con la limitatezza delle risorse del Pianeta, anche in riferimento al sovrconsumo dell'ecosistema digitale globale (Belkhir and Elmeligi, 2018). I problemi che dobbiamo affrontare sono così vasti da sfuggire all'immediata percezione, prendendo la forma di 'iperoggetti' (Morton, 2016). Ad esempio, il condizionamento dell'aria, come tecnologia e pratica, è parte di un sistema che include infrastrutture elettriche, industrie di produzione, normative politiche e abitudini di consumo: il suo impatto va oltre lo spostare flussi di aria altrove. Su scala planetaria, altrove è lo stesso posto; si sta semplicemente spostando l'inquinamento all'interno di un sistema senza realmente risolvere nulla; in effetti, ciò che si fa è sprecare energia: nel 2023 le emissioni di gas serra derivanti dall'utilizzo di combustibili fossili hanno toccato il loro apice (Climate Analytics, 2023).

Alla luce delle superiori premesse il contributo riconsidera il rapporto tra tecnologia, energia e gestione del tempo alla luce delle crisi ambientali contemporanee, fornendo una comparazione critica tra gli approcci della Permacultura, del Solar Punk e del Low Tech, attraverso la lente del Design come disciplina cruciale per supportare la transizione energetica nel mondo occidentale. Le prime due sezioni approfondiscono dal punto di vista storico ed ecologico la situazione odierna di sovrconsumo di energia, legata all'evoluzione dell'impianto tecnologico che sostiene le pratiche giornalieri delle società occidentali; la terza contiene una ricognizione di rilevanti movimenti sperimentali che tentano di proporre nuovi paradigmi di consumo energetico. A seguire si presenta una discussione critica sulla specificità di tali approcci e sulla necessità di implementare strumenti e metodi del design per tradurre questi percorsi sperimentali in pratiche progettuali.

Evoluzione della domanda energetica | L'evoluzione storica delle fonti di energia ha camminato

di pari passo con l'avanzamento tecnologico. Lo spostamento da fonti come il legno, l'acqua e la forza umana o animale verso l'utilizzo di carbone, petrolio, gas naturale ed elettricità ha reso l'accesso all'energia più conveniente, sostenendo l'industrializzazione e l'espansione urbana e modellando la struttura delle società e delle economie contemporanee (Wrigley, 2013). Il consumo energetico procapite delle società più tecnicamente evolute mostra la dipendenza da tecnologie energivore, al punto che la media di consumo di un nordamericano è più del doppio di quella di un europeo (la media italiana è inferiore di circa il 30%), e venti volte maggiore di quella di un africano¹ (Fig. 1): l'ampiezza del divario evidenzia l'urgenza e la complessità di bilanciare il consumo energetico; è evidente che non sia possibile aspirare a diffondere lo stile di vita occidentale ad altre società, a causa della limitatezza delle risorse (De Decker, 2017; Rau and Oberhuber, 2023).

La storia del dibattito tra Corrente Alternata (CA) e Continua (CC) esemplifica l'evoluzione delle nostre esigenze energetiche e capacità tecnologiche (Fig. 2). La CA si è affermata per la sua facilità di trasmissione su lunghe distanze, portando a una maggiore efficienza e alla riduzione delle centrali elettriche necessarie. Oggi assistiamo a un ritorno di interesse verso la CC, spinto dalla crescente adozione di fonti di energia rinnovabili, che generano appunto CC, capace di un'efficienza energetica superiore, riducendo la dissipazione di calore e consentendo risparmi energetici tra il 2% e il 4% (Torchiani, 2023); la sua implementazione promette di rivoluzionare le reti di distribuzione e gli impianti industriali, offrendo prospettive di sviluppo significative, anche integrando sistemi di stoccaggio per compensare le fluttuazioni di potenza, riducendo il rischio di interruzioni dell'alimentazione e i tempi di fermo. Tuttavia questa transizione svela un'importante discrepanza progettuale: i nostri dispositivi sono largamente configurati per l'uso in CA, nonostante la crescente efficienza energetica dei sistemi a CC.

Questo scenario in evoluzione riflette la continua interazione tra il progresso tecnologico e l'uso dell'energia e mette in evidenza come il rapporto tra uomo e tecnologia richieda che entrambi gli attori si adattino in parte l'uno all'altro (Vacanti et alii, 2023). In quanto disciplina deputata a colmare il divario tra artefatti e utenti, incorporando la tecnologia negli ambienti quotidiani, il Design ricopre evidentemente un ruolo cruciale nel conseguimento della transizione energetica, che richiede perciò un'iniziativa creativa in grado di rinnovare le modalità di produzione e consumo (Papanek, 2022), ponendo l'attenzione al sistema e focalizzandosi sull'esperienza, nelle sue declinazioni tangibili e intangibili (Fagnoni and Olivastri, 2019). Il paradosso dell'efficienza (Tsao et alii, 2010), in cui il miglioramento tecnologico porta a un aumento del consumo energetico anziché a una riduzione, evidenzia la necessità di un approccio al design che sostenga e sviluppi interventi di rimodellazione dell'interazione complessa tra sistemi socio-ecologici e socio-tecnici (Ceschin and Gaziulusoy, 2019).

Visioni ecologiche per tecnologie appropriate | Il termine 'ecologia' descrive la relazione ecosistemica tra entità e contesto ambientale (Zanotto, 2020), segnalandosi come un indicatore cruciale

nelle discussioni sulla crisi ambientale attuale caratterizzata da un persistente disequilibrio tra i cicli tecnologici, che rappresentano l'azione umana, e i cicli biologici della natura (Perriccioli, Ruggiero and Salka, 2021). In risposta a questa condizione diverse correnti ecologiche propongono soluzioni alternative all'adozione acritica di tecnologie avanzate, riconoscendo e mitigando i loro impatti negativi. Visioni radicate nelle tradizioni indigene e filosofie occidentali condividono una critica comune all'infrastruttura industriale globale e promuovono una riconnessione con i ritmi della natura. Nel contesto occidentale diversi pensatori portano avanti critiche al paradigma dominante di crescita illimitata ascrivibili alla 'teoria della decrescita' che suggerisce un modello alternativo di sviluppo e che non rinuncia alla complessità delle società moderne, ma cerca un dialogo attivo con le sfide del presente (Latouche, 2010).

In questo dibattito, il ruolo del Design è storicamente legato alle dinamiche di consumo del sistema capitalistico (Wizinsky, 2022); esso si è evoluto – anche dal punto di vista energetico – nell'ottica di considerare gli utenti soprattutto 'consumatori' che usufruiscono di beni e servizi a pagamento e ciò ha implicato una incontrollata crescita della domanda di energia, fino alle condizioni odierne, in cui il rischio è la prospettiva di un futuro di povertà energetica (OIPE, 2020). Tuttavia l'impiego del potere trasformativo del design in contesti più ampi e sistemici (Barbero and Ferrulli, 2023) rappresenta un'opportunità notevole di immaginare scenari più desiderabili, dal punto di vista sociale, oltretutto tecnico (Di Dio et alii, 2022); in questa prospettiva Manzini (2015) ha evidenziato il carattere sperimentale e collettivo del percorso che dovrebbe guidare la transizione ecologica ed energetica: per avere successo esso deve essere percepito come avanzamento verso una qualità di vita superiore, sia su scala individuale che comunitaria, pur portando a una riduzione dei consumi. Il paper prende le mosse da questo inquadramento filosofico e disciplinare, contribuendo alla discussione sull'applicazione operativa dei concetti qui citati nel contesto della progettazione delle cosiddette 'tecnologie appropriate'.

L'interesse per le tecnologie appropriate ha radici profonde nel contesto post-coloniale degli anni Sessanta, quando emerse la necessità di fornire sostegno ai Paesi allora definiti del Terzo Mondo; Schumacher (1974) introdusse allora la definizione di 'tecnologia appropriata', sottolineando l'importanza di sviluppare tecniche adeguate alle risorse e necessità di ciascun contesto locale, che fossero altresì efficienti, replicabili e rispettose di diverse culture e ambienti. Questi concetti auspicavano l'implementazione di una tecnologia più efficiente delle pratiche indigene, ma più economica rispetto a quella industriale, con l'obiettivo di favorire investimenti locali e decentralizzazione (Bishop, 2021; Patnaik and Tarei, 2022): da queste premesse si sono sviluppate visioni diverse, che integrano la loro attività con approcci sostenibili al consumo energetico.

Percorsi sperimentali | La Permacultura (Fig. 3), acronimo di 'agricoltura permanente', nasce negli anni Settanta dalla collaborazione tra Mollison e Holmgren (1979) come sistema integrato di principi di design ecologico e ambientale, volto a riprodurre modelli e strategie osservati negli eco-

sistemi naturali. Questo approccio è orientato non solo a incrementare l'efficienza delle pratiche agricole ma a promuovere la creazione di comunità responsabili e autosufficienti. La Permacultura è intesa come arte di tessere relazioni consapevoli nel mondo della complessità, dove la vita è concepita come una rete di interconnessioni che scambiano energia, materia e informazioni, rigenerandosi nel tempo (Stevovic, Jovanovic and Djuric, 2018). Si fonda su tre principi etici fondamentali: la cura della terra, la cura delle persone e la redistribuzione del surplus per sostenere questi obiettivi, promuovendo un utilizzo etico e frugale delle risorse (Mollison, 1988). La Permacultura si distingue per l'approccio innovativo ai cicli del tempo e dell'energia, contrastando la dipendenza dalle fonti energetiche non rinnovabili e promuovendo il riciclo degli scarti, la riduzione dei consumi e lo sviluppo di tecnologie appropriate.

Il concetto di Low-tech (Fig. 4) è stato recentemente riproposto da Philippe Bihoux (2020), che propone un approccio alla tecnologia orientato al basso consumo, caratterizzando gli oggetti e i sistemi Low-tech come duraturi, facilmente riparabili e progettati per minimizzare l'impatto della loro produzione e del loro uso. Un tale approccio prende corpo negli anni Sessanta in contesti diversi, dagli Stati Uniti all'Europa e al Terzo Mondo, con l'intento comune di offrire alternative concrete alle forme di vita moderne centralizzate ed energivore (Gaillard and Bihoux, 2023). Il Low-tech, in quanto movimento, invita a una riflessione profonda sulla riappropriazione del tempo, proponendo un rallentamento dei ritmi di vita per distaccarsi dalla frenesia contemporanea e orientarsi verso un'esistenza più equilibrata e sostenibile. Le pratiche Low-tech, pur non rispettando talvolta gli standard convenzionali in termini di efficienza, pre-

stazioni e comodità d'uso, si distinguono per la promozione di un uso più moderato della tecnologia, evidenziando l'importanza di acquisire competenze tecniche di produzione semplici, che favoriscano autonomia e consapevolezza negli utenti (Fig. 5).

Di stampo più speculativo è il Solarpunk (Fig. 6) che nasce nel 2008 distaccandosi dai suoi predecessori 'punk' per la capacità di pensare un futuro non solo diverso ma praticabile e sostenibile. Descritto come modo per immaginare il miglior Antropocene possibile, il Solarpunk coltiva una visione positiva e speranzosa, pragmatica di un futuro radicato in tecnologie e culture sostenibili (Rivero-Vadillo, 2022). La visione scenaristica si manifesta in grandi metropoli, in equilibrio con il regno vegetale (Hunting, 2021; Fig. 7) e individua nel maker il proprio attore principale che si riappropria della tecnologia (Pone, 2023) e la applica per la salvezza di un mondo sull'orlo della catastrofe ambientale, 'hackerando' i detriti dell'era industriale e creando isole di autosufficienza (Reina-Rozo, 2021). Questo movimento sta guadagnando slancio sia nell'arte che nelle pratiche DIY (Do It Yourself), con collettivi di maker e hacker che materializzano esperienze progettuali in varie località, dimostrandone il potenziale positivo.

Consumo energetico, gestione del tempo e usabilità

Si propone un'indagine comparativa dei movimenti descritti, condotta scegliendo come parametri i tre elementi che il contributo mira a mettere in relazione. A questi si aggiunge l'usabilità, intesa come grado di efficienza ed efficacia con cui si compie l'interazione tra persone e artefatti, necessaria come parametro che introduce le esigenze umane in relazione con gli altri elementi. L'analisi di natura qualitativa si basa sulla letteratura esistente e sullo studio di casi progettuali, identificati sul database Scopus con periodo di riferimento a partire dal 2008, attraverso le parole chiave 'permaculture', 'low-tech', 'solarpunk' e loro variazioni² (Tab. 1). I casi selezionati sono accomunati da un approccio alla produzione energetica che si distanzia dalla gestione del tempo occidentale e che mira a costruire negli utenti consapevolezza riguardo ai propri consumi.

Dal punto di vista tecnologico la Permacultura enfatizza l'intelligenza naturale e le soluzioni ispirate direttamente dalla natura, promuovendo sistemi autosufficienti (Fig. 8). Prodotti rilevanti di questo tipo includono biodigestori domestici³ che convertono i rifiuti della cucina in biogas pulito e fertilizzante liquido direttamente sul posto, trasformando uno scarto in risorsa energetica, e stufe ad accumulo di calore⁴, che utilizzano la massa termica per accumulare calore durante il funzionamento e rilasciarlo gradualmente nel tempo, mantenendo l'ambiente interno caldo anche dopo che il fuoco è spento.

Il Low-tech si focalizza invece sull'applicazione di soluzioni tecnicamente semplici, e sul recupero e la rivisitazione di tecnologie desuete a sostituzione di sistemi high-tech, favorendo il DIY e la diffusione di risorse open source, che permettono la scalabilità dei progetti in diversi contesti, comprese aree remote e a basso reddito (Fig. 9). A titolo esemplificativo, si cita l'utilizzo di macchine a pedali a energia umana, di cui esistono numerosi casi applicativi: Mayapedal⁵ in Guatemala (Fig. 10), VitaGoat Cycle Grinder⁶ della canadese

Malnutrition Matters, e i mulini a pedale per la lavorazione delle fave di cacao nelle comunità messicane.⁷

Il Solarpunk si distingue per la sua propensione a soluzioni avanzate, compresa l'intelligenza artificiale, mirando a riappropriarsi e ripensare la tecnologia moderna in chiave ecocompatibile, attraverso l'attività della comunità maker (Fig. 11). Iniziative come il Solarpunk Festival⁸ hanno l'obiettivo di realizzare progetti che incorporano i principi del movimento attraverso co-design e attività di prototipazione per lo sviluppo di comunità abitative autosufficienti che integrano pannelli solari con sistemi di raccolta delle acque piovane e che promuovono la creazione di spazi pubblici verdi e inclusivi per favorire l'interazione sociale (Fig. 12). Allo stesso modo, l'impresa edile indiana Solarpunk Futures⁹ si impegna nella ricerca e sviluppo di soluzioni abitative autosufficienti in grado di garantire l'efficienza energetica equilibrando innovazione e tradizioni locali.

Sul fronte energetico i tre movimenti adottano modalità diverse. La Permacultura si concentra sul principio 'energy cycling' (Fig. 13), che consiste nel riciclo dell'energia mediante la sua cattura, immagazzinamento e utilizzo in loco (Pain and Pain, 1980), sfruttando vento e sole per generare elettricità, compost e scarti di cucina per produrre metano, acque grigie per l'irrigazione e letame animale per la produzione di biogas. Il Low-tech mira a ridurre al minimo il consumo energetico massimizzando e integrando le fonti rinnovabili con la forza umana. Il Solarpunk immagina un habitat costruito adattato in modo creativo per massimizzare il guadagno solare, promuovendo l'autosufficienza attraverso un'alimentazione prevalentemente elettrica e valorizzando le fonti rinnovabili come elementi estetici oltre che funzionali.

Riguardo al tempo, la Permacultura rispetta i cicli stagionali e promuove la conservazione dell'energia per l'utilizzo futuro, riflettendo una visione del tempo come elemento da armonizzare con i ritmi della natura, il Low-tech promuove uno stile di vita lento e considera l'intermittenza dell'energia rinnovabile cercando di proporre alternative da perseguire in mancanza di essa, mentre il Solarpunk critica il consumo rapido di risorse e prodotti, sottolineando l'importanza di progettare artefatti per durare tutta la vita: il tempo, secondo questa concezione, è una preziosa risorsa da utilizzare per traghettare gradualmente la società capitalista verso un futuro preferibile di benessere collettivo.

Rispetto al parametro usabilità ci sono significative differenze nei requisiti di impegno e apprendimento da parte degli utenti. La Permacultura e il Low-tech richiedono maggiore impegno attivo e capacità manuale, hanno una curva di apprendimento più ripida e preferiscono l'impatto ridotto all'efficienza e la facilità d'uso; il Solarpunk, pur mantenendo una complessità tecnologica, cerca di bilanciare la fruizione accessibile con tecniche avanzate, sottolineando l'interazione sociale e la cooperazione tra comunità locali: in generale, il fattore critico di molti di questi progetti è l'ingombro; infatti per raggiungere un livello di efficienza paragonabile a quello degli artefatti high-tech richiedono spesso molto spazio.

Lo sviluppo di dispositivi sostenibili richiede un approccio al design che ponga al centro non solo una progettazione efficiente dal punto di vista energetico, ma anche la creazione di nuovi modi di re-

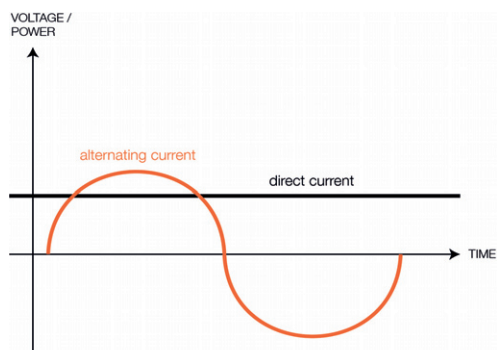
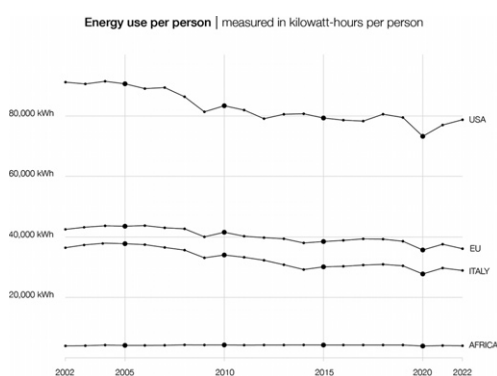


Fig. 1 | Per capita energy consumption 2002-2022 (credit: Our World in Data, 2022; adapted by the Authors).

Fig. 2 | Descriptive diagram of the differences between direct and alternating current (credit: the Authors, 2024).

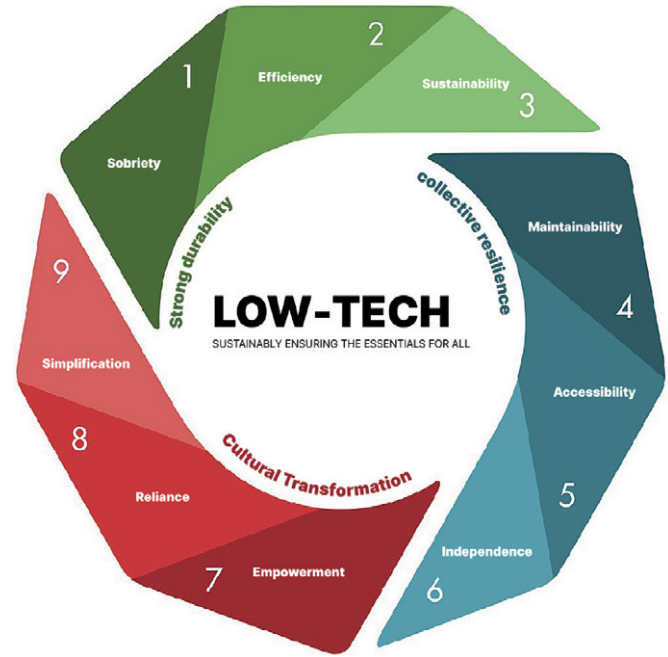


Fig. 3 | Diagram of the Permaculture 'flower' (source: WikiMedia Commons, 2022).

Fig. 4 | Diagram of the principles of low-tech (source: WikiMedia Commons, 2021).

lazionarsi con gli strumenti che utilizziamo quotidianamente. Nonostante il valore delle pratiche e degli esempi descritti, la loro diffusione su larga scala affronta notevoli sfide legate alla percezione culturale e alla necessità di adattare gli stili di vita. L'adozione di questi modelli segna una netta distanza dallo stile di vita occidentale convenzionale, rendendoli 'alieni' e difficilmente attuabili.

Un ostacolo significativo è l'estetica frugale di alcune di queste soluzioni, che può risultare difficile da integrare in determinati contesti; inoltre l'autoproduzione e il DIY richiedono tempo e competenze specifiche, non sempre disponibili o desiderate. Altro fattore limitante è la mancanza di visibilità dell'impatto effettivo di queste pratiche, anche attraverso dati sul consumo energetico e sui benefici ambientali, che potrebbe incentivare una maggiore adozione. Affrontare questi ostacoli richiede una riflessione profonda sulle dinamiche culturali e sociali che influenzano le scelte di vita sostenibili, nonché un impegno per aumentare la consapevolezza e la praticità delle soluzioni proposte. Non solo: pur delineando un futuro sostenibile e desiderabile, oggi queste pratiche sono relegate a un contesto didattico, sperimentale e scenaristico, privo di una concreta applicazione nel campo progettuale: è necessario che vengano reinterpretate attraverso gli strumenti del Design, al fine di tradurle in sistemi e artefatti utilizzabili nella quotidianità.

Conclusioni | Il raggiungimento dell'equilibrio ecologico richiede la definizione di nuovi cicli tecnologici (Perriccioli, Ruggiero and Salka, 2021); questo cambiamento è frenato da molteplici ostacoli, che includono fattori culturali, politici, sociali (Bauwens, Hekkert and Kirchherr, 2020). Le pratiche descritte non offrono semplici alternative tecniche, ma agiscono come catalizzatori della transizione verso uno stile di vita dal minore impatto ecologico, promuovendo al contempo l'autonomia e la resilienza individuale e collettiva. Oggi questi movimenti sono guidati più da maker e comunità bottom up che da professionisti del progetto e que-

sto traspare dalla resa estetica degli artefatti e dalla loro capacità di inserirsi nei contesti di vita di più persone in maniera efficace.

La rilevanza del Design in questo processo è fondamentale: i designer hanno il compito di rendere le alternative agli stili di vita tecnofili ed energivori più attraenti e desiderabili, trasformando profondamente il modo in cui fruiamo la tecnologia. La discontinuità delle energie rinnovabili e la necessità di integrare efficacemente sistemi alternativi di produzione e accumulo di energia richiedono un ripensamento radicale dei parametri del progetto tecnologico, considerando elemento chiave la variabilità temporale dell'approvvigionamento energetico.

Condurre pratiche di design per la transizione significa progettare strategie sistemiche rivolte a futuri a breve e medio termine per affrontare problematiche complesse e interconnesse (Bisson et alii, 2022), tenendo conto che le intere società sono di fronte alla sfida di affrontare la transizione verso la sostenibilità e che ciò comporterà cambiamenti a più livelli sistemici (Irwin, 2019). Attraverso tale trasformazione progettuale è possibile avviare un percorso verso una gestione dell'energia che sia non solo tecnicamente efficiente ma anche culturalmente significativa, rifiutando la tecnofilia (Pone, 2022), intesa come entusiasmo acritico per le soluzioni tecnologiche, che rischia di condurre verso stili di vita tecnocratici, compromettendo ulteriormente il posizionamento dell'uomo all'interno della biosfera.

In quest'ottica il Design non dovrebbe limitarsi a risolvere problemi tecnici ma deve svolgere il ruolo di mediatore tra l'essere umano e il suo ambiente, facilitando la costruzione di un futuro energetico che porti a ridefinire l'ininterrotto fluire del tempo tipico dell'Occidente, trascendendo l'idea di quest'ultimo come bene da sfruttare. La tecnologia e l'energia, pur essendo pilastri della modernità, possono adattarsi a una temporalità che accetta i cicli naturali di abbondanza e scarsità: il Design può anticipare un futuro in cui le pratiche

umane si allineano con la stagionalità energetica, educando all'accettazione di una presenza tecnologica intermittente, valorizzando gli intervalli necessari al rinnovo delle risorse.

In questo senso il saggio fornisce una prima base concettuale per stimolare la comunità scientifica ad approfondire teorie e pratiche sperimentali per l'impiego di tecnologie appropriate energeticamente efficienti e a mettere a punto un rinnovato paradigma progettuale 'energy-driven' a partire da una sistemica mappatura di casi studio al fine di condividere saperi nella forma di principi, linee guida e prassi volte a favorirne la scalabilità.

Technology, energy, time: since the industrial revolution, these three elements of modern life have become inextricably intertwined, to the point that the artificialisation of the natural environment, continuous access to energy, and linear time management are taken for granted as 'natural' features of everyday life. The Western mindset has evolved toward a conception of time as a commodity, favouring individualism, competition, and market economics. Indeed, many of the characteristics that we tend to consider universally pertaining to human nature are, on the contrary, historically and culturally specific to Western communities (Henrich, 2022).

Our relationship with time is particular in that we are driven to make the most of it, spending every minute on activities considered productive and avoiding idleness and boredom as negative values. As a result, the technological context to which we are symbiotically bound has been shaped: physical and digital products and services are always accessible, day and night: for it to be so, the flow of energy that feeds them must necessarily be uninterrupted. Time, so understood, is not habitable; it is a dragging flow that offers no footholds in which people are immersed and plummet forward (Han, 2022). Today, however, the rapidly evolving climate crisis confronts us with new emergencies and ur-



Fig. 5 | Vegetable casserole cooked with a solar oven (source: Wikimedia Commons, 2008).

Fig. 6 | Solarpunk flag (source: Wikimedia Commons, 2019).

Fig. 7 | Vision (AI generated) of a hypothetical future Solarpunk (source: Wikimedia Commons, 2023).

gencies, and a necessary confrontation with the planet's finite resources, including how the global digital ecosystem is overexploited (Belkhir and Elmeligi, 2018). The problems we face are so vast that they escape immediate perception, taking the form of 'hyperobjects' (Morton, 2016). For example, air conditioning, as a technology and practice, is part of a system that includes electrical infrastructure, manufacturing industries, political regulations, and consumption habits. Its impact goes beyond moving air flows elsewhere. On a planetary scale, elsewhere is the same place; you move pollution within a system without solving anything. In fact, you are wasting energy: in 2023, greenhouse gas emissions from fossil fuel use peaked (Climate Analytics, 2023).

The paper reconsiders the relationship between technology, energy and time management in light of contemporary environmental crises, providing a critical comparison of Permaculture, Solar Punk and Low Tech approaches through the lens of design as a crucial discipline to support the energy transition in the Western world. The first two sec-

tions delve historically and ecologically into today's situation of energy overconsumption, linked to the evolving technological framework that supports the daily practices of Western societies; the third contains a survey of relevant experimental paths that attempt to propose new paradigms of energy consumption. This is followed by a critical discussion of the specificity of such approaches and the need to implement design tools and methods to translate these experimental paths into design practices.

Evolution of energy demand | The historical evolution of energy sources has walked hand in hand with technological advancement. The shift from sources such as wood, water, and human or animal power to the use of coal, oil, natural gas, and electricity has made access to energy more affordable, supporting industrialisation and urban expansion and shaping the structure of contemporary societies and economies (Wrigley, 2013). The per capita energy consumption of the most technically advanced societies shows their dependence on energy-intensive technologies, so much so that the extent that the average consumption of a North American is more than twice that of a European (the Italian average is about 30% lower), and twenty times greater than that of an African¹ (Fig. 1). The magnitude of the gap highlights the urgency and complexity of balancing energy consumption; it is clear that it is not possible to aspire to spread the Western lifestyle to other societies because of limited resources (De Decker, 2017; Rau and Oberhuber, 2023).

The history of the debate between Alternating Current (AC) and Continuous Current (DC) exemplifies the evolution of our energy needs and technological capabilities (Fig. 2). AC became popular because of its ease of transmission over long distances, leading to greater efficiency and the reduction of power plants needed. Today, we are witnessing a resurgence of interest in DC, driven by the growing adoption of renewable energy sources, which generate precisely DC, capable of superior energy efficiency, reducing heat dissipation and enabling energy savings between 2% and 4% (Torchiani, 2023); its implementation promises to revolutionise distribution networks and industrial plants, offering significant development prospects, including integrating storage systems to compensate for power fluctuations, reducing the risk of power outages and downtime. However, this transition reveals a significant design discrepancy: our devices are configured mainly for AC use despite the increasing energy efficiency of DC systems.

This evolving scenario reflects the continuous interaction between technological progress and energy use and highlights how the relationship between humans and technology requires both actors to adapt to each other to some extent (Vacanti et alii, 2023). As a discipline deputed to bridge the gap between artefacts and users, incorporating technology into everyday environments, design plays a crucial role in achieving the energy transition, which therefore requires a creative initiative capable of renewing the modes of production and consumption (Papanek, 2022), placing attention to the system, and focusing on experience, in its tangible and intangible declinations (Fagnoni and Olivastri, 2019). The efficiency paradox (Tsao et alii, 2010), in which technological improvement leads to an increase in energy consumption rather than

a reduction, highlights the need for a design approach that supports and develops interventions to reshape the complex interaction between socio-ecological and socio-technical systems (Ceschin and Gaziulusoy, 2019).

Ecological visions for appropriate technology

The term 'ecology' describes the ecosystemic relationship between entity and environmental context (Zanotto, 2020), signalling itself as a crucial indicator in discussions of the current ecological crisis characterised by a persistent disequilibrium between technological cycles, which represent human action, and the biological cycles of nature (Perriccioli, Ruggiero and Salka, 2021). In response to this condition, several ecological currents propose alternative solutions to the uncritical adoption of advanced technologies, recognising and mitigating their negative impacts. Views rooted in indigenous traditions and Western philosophies share a common critique of the global industrial infrastructure and promote a reconnection with the rhythms of nature. In the Western context, several thinkers advance critiques of the dominant paradigm of unlimited growth ascribable to 'degrowth theory' that suggests an alternative model of development that does not renounce the complexity of modern societies but seeks an active dialogue with the challenges of the present (Latouche, 2010).

In this debate, the role of Design is historically linked to the consumption dynamics of the capitalist system (Wizinsky, 2022). Design has evolved – also energetically – from the perspective of considering users primarily 'consumers' who use goods and services for a fee. This has implied an uncontrolled growth in energy demand, up to today's conditions, where the risk is the prospect of a future of energy poverty (OIPE, 2020). However, employing the transformative power of design in broader, systemic contexts (Barbero and Ferrulli, 2023) represents a remarkable opportunity to imagine more desirable social and technical scenarios (Di Dio et alii, 2022). In this perspective, Manzini (2015) highlighted the experimental and collective nature of the path that should guide the ecological and energy transition: to be successful, it must be perceived as an advancement toward a higher quality of life, both on an individual and community scale, while leading to a reduction in consumption. The paper builds on this philosophical and disciplinary framing, discussing the operational application of the concepts mentioned here in designing so-called 'appropriate technology'.

The interest in appropriate technology has deep roots in the postcolonial context of the 1960s when the need emerged to provide support to countries then defined as Third World; Schumacher (1974) introduced the definition of 'appropriate technology' at that time, emphasising the importance of developing techniques appropriate to the resources and needs of each local context, which were also efficient, replicable, and respectful of different cultures and environments. These concepts advocated the implementation of technology that was more efficient than indigenous practices but cheaper than industrial technology, with the goal of fostering local investment and decentralisation (Bishop, 2021; Patnaik and Tarei, 2022). Different visions have developed from these premises, integrating their activities with sustainable approaches to energy consumption.

Experimental paths | Permaculture (Fig. 3), an acronym for ‘permanent agriculture’, emerged in the 1970s from the collaboration between Mollison and Holmgren (1979) as an integrated system of ecological and environmental design principles aimed at reproducing patterns and strategies observed in natural ecosystems. This approach is oriented to increase the efficiency of agricultural practices and promote the creation of responsible and self-sufficient communities. Permaculture is understood as the art of weaving conscious relationships in the world of complexity, where life is conceived as a network of interconnections that exchange energy, matter, and information, regenerating over time (Stevovic, Jovanovic and Djuric, 2018). It is based on three basic ethical principles: care for the earth, care for people, and redistribution of surplus to support these goals, promoting ethical and frugal use of resources (Mollison, 1988). Permaculture is distinguished by its innovative approach to time and energy cycles, countering dependence on non-renewable energy sources, promoting waste recycling, reducing consumption, and developing appropriate technologies.

The Low-tech concept (Fig. 4) has recently been revived by Philippe Bihouix (2020), who proposes a low-consumption approach to technology, characterising Low-tech objects and systems as durable, easily repairable, and designed to minimise the impact of their production and use. Such an approach took shape in the 1960s in diverse contexts, from the United States to Europe and the Third World, with the common intent of offering concrete alternatives to centralised, energy-intensive modern living forms (Gaillard and Bihouix, 2023). Low-tech, as a movement, invites a deep reflection on the re-appropriation of time, proposing a slowdown in the place of life to break away from the contemporary frenzy and move towards a more balanced and sustainable existence. Low-tech practices, while sometimes falling short of conventional standards in terms of efficiency, performance, and convenience of use, are distinguished by their promotion of a more moderate use of technology, emphasising the importance of acquiring simple technical production skills that foster autonomy and awareness in users (Fig. 5).

Of a more speculative bent is Solarpunk (Fig. 6), which was born in 2008, detaching itself from its ‘punk’ predecessors by its ability to think of a future that is not only different but viable and sustainable. Described as a way to imagine the best possible Anthropocene, Solarpunk cultivates a positive and hopeful yet pragmatic vision of a future rooted in sustainable technologies and cultures (Rivero-Vadillo, 2022). The scenaristic vision manifests itself in large metropolises, in balance with the plant kingdom (Hunting, 2021; Fig. 7) and identifies the maker as its primary actor who reappropriates technology (Pone, 2023) and applies it to the salvation of a world on the brink of environmental catastrophe, ‘hacking’ the detritus of the industrial age, creating islands of self-sufficiency (Reina-Rozo, 2021).

This movement is gaining momentum in art and DIY (Do It Yourself) practices, with collectives of makers and hackers materialising design experiences in various locations, demonstrating their positive potential.

Energy consumption, time management, and usability | A comparative investigation of the movements described is proposed, conducted by choosing the three elements the contribution aims to relate as parameters. To these is added usability, understood as the degree of efficiency and effectiveness with which the interaction between people and artefacts is accomplished, which is necessary as a parameter that introduces human needs in relation to the other elements. The analysis of a qualitative nature is based on the existing literature and the study of design cases, identified from the Scopus platform with a reference period from 2008, through the keywords ‘permaculture’, ‘low-tech’, ‘solarpunk’ and their variations² (Tab. 1). The selected cases are united by an approach to energy production that departs from Western time management and aims to build awareness in users about their consumption.

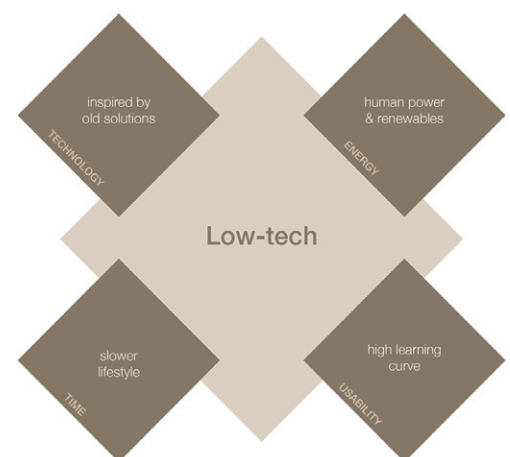
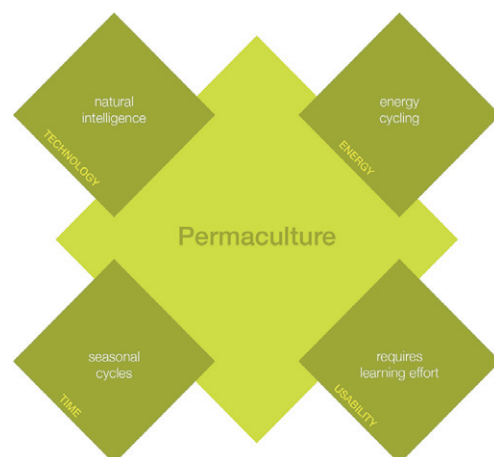
From a technological perspective, Permaculture emphasises natural intelligence and solutions inspired directly by nature, promoting self-sufficient systems (Fig. 8). Relevant products of this type in-

clude household biodigesters³ that convert kitchen waste into clean biogas and liquid fertiliser directly on site, turning waste into an energy resource, and heat-storage stoves⁴, which use thermal mass to store heat during operation and release it gradually over time, keeping the indoor environment warm even after the fire is out.

Low-tech, on the other hand, focuses on the application of technically simple solutions and the recovery of obsolete technologies to replace high-tech systems, encouraging the self-production and dissemination of open-source resources that allow the scalability of projects in different contexts, including remote and low-income areas (Fig. 9). Examples include the use of human-powered pedal machines, of which numerous application cases exist: Mayapedal⁵ in Guatemala (Fig. 10), VitaGoat Cycle Grinder⁶ by Canadian Malnutrition Matters, and pedal-powered mills for processing cocoa beans in Mexican communities.⁷

Solarpunk is distinguished by its propensity for advanced solutions, including Artificial Intelligence, aiming to reappropriate and rethink modern technology in an environmentally friendly way through maker community activities (Fig. 11). Initiatives such as the Solarpunk Festival⁸ aim to implement projects that incorporate the principles of the movement through co-design and prototyping activities to develop self-sufficient housing communities that

	Technology	Energy	Time	Usability
Permaculture	natural intelligence inspired by natural solutions self-sufficient and easily repairable	energy cycling collection and reuse of existing energy from natural sources	respect for natural and seasonal cycles storage of energy for later use	designed for small independent communities requires active engagement and learning from users
Low-tech	inspired old solutions DIY and open-source built to last and be repaired	low energy consumption human power renewable sources	promotion of a slower lifestyle takes into consideration the intermittency of energy availability	high learning curve prefers low impacts to efficiency and ease of use
Solarpunk	advanced solutions (also AI) appropriates and repurposes modern technology designed by hackers and makers	mainly based on electrical power renewable sources wind turbines and solar panels as aesthetic symbols	critique of the quick consumption of resources and products focus on artefacts that ‘last for a lifetime’	focus on social interaction and cooperation among local communities accessible interaction with advanced tech



Tab. 1 | Comparison of Permaculture, Low-tech and Solarpunk (credit: the Authors, 2024).

Fig. 8 | Summary scheme of Permaculture (credit: the Authors, 2024).

Fig. 9 | Summary scheme of Low-tech (credit: the Authors, 2024).

integrate solar panels with rainwater harvesting systems and promote the creation of green and inclusive public spaces to foster social interaction (Fig. 12). Similarly, Indian construction company Solarpunk Futures⁹ engages in research and development of self-sufficient housing solutions that ensure energy efficiency while balancing innovation and local traditions.

Regarding energy, the three movements adopt different modes. Permaculture focuses on the ‘energy cycling’ principle (Fig. 13) of recycling energy by capturing, storing, and using it on site (Pain and Pain, 1980), harnessing wind and sun to generate electricity, compost and kitchen waste to produce methane, grey water for irrigation and animal manure for biogas production. Low-tech minimises energy consumption by maximising and integrating renewable sources with human power. Solarpunk envisions a built habitat creatively adapted to maximise solar gain, promoting self-sufficiency through predominantly electric power and enhancing renewables as aesthetic as well as functional elements. Regarding time, Permaculture respects seasonal cycles and promotes the conservation of en-

ergy for future use, reflecting a view of time as an element to be harmonised with the rhythms of nature; Low-tech promotes a slow lifestyle and considers the intermittency of renewable energy while trying to propose alternatives to be pursued in its absence; Solarpunk criticises the rapid consumption of resources and products, emphasising the importance of designing artefacts to last a lifetime: time, according to this conception, is a valuable resource to be used to gradually ferry capitalist society to a preferable future of collective well-being.

There are significant differences in the requirements for user engagement and learning regarding the usability parameter. Permaculture and Low-tech require more active engagement and manual skills, have a steeper learning curve, and prefer reduced impact to efficiency and ease of use; Solarpunk, while maintaining technological complexity, seeks to balance accessible usability with advanced techniques, emphasising social interaction and cooperation among local communities. In general, the critical factor in many of these projects is clutter, as to achieve a level of efficiency comparable to high-tech artefacts, they often require a lot of space.

The development of sustainable devices requires a design approach that places energy-efficient design at the centre and the creation of new ways of relating to the tools we use daily. Despite the value of the practices and examples described, their widespread adoption faces significant challenges related to cultural perceptions and the need to adapt lifestyles. Adopting these models marks a clear distance from the conventional Western lifestyle, making them ‘alien’ and challenging to implement.

A significant obstacle is the frugal aesthetics of some of these solutions, which can be difficult to integrate in specific contexts. In addition, self-production and DIY require time and particular skills, which are not always available or desired. Another limiting factor is the lack of visibility of the actual impact of these practices, including data on energy consumption and environmental benefits, which could incentivise greater adoption. Addressing these obstacles requires deep reflection on the cultural and social dynamics that influence sustainable lifestyle choices, as well as efforts to increase awareness and practicality of proposed solutions. Moreover, while outlining a sustainable and desirable future, today these practices are relegated to didactic, experimental, and scenaristic contexts, lacking concrete application in the design field. Therefore, they need to be reinterpreted through the tools of design in order to be translated into systems and artefacts that can be used in everyday life.

ecological impact, while promoting individual and collective autonomy and resilience. Today, these movements are driven more by bottom-up makers and communities than by design professionals, and this is apparent in the aesthetic rendering of artefacts and their ability to fit into multiple people’s life contexts effectively.

On the contrary, the relevance of Design in this process should be paramount: designers are tasked with making alternatives to technophilic and energy-consuming lifestyles more attractive and desirable, profoundly transforming the way we use technology. The discontinuity of renewable energy and the need to effectively integrate alternative energy production and storage systems require a radical rethinking of the parameters of technological design, considering the temporal variability of energy supply as a key element.

Engaging in design practices for transition means designing systemic strategies aimed at short and medium-term futures to address complex and interconnected issues (Bisson et alii, 2022), taking into account that entire societies are faced with the challenge of coping with the transition to sustainability and that this will involve changes at multiple systemic levels (Irwin, 2019). Through such a design transformation, it is possible to initiate a path toward energy management that is not only technically efficient but also culturally meaningful, rejecting technophilia (Pone, 2022), understood as uncritical enthusiasm for technological solutions, which risks leading toward technocratic lifestyles, further compromising human positioning within the biosphere.

From this perspective, Design should not be limited to solving technical problems; it must play the role of mediator between human beings and their environment, facilitating the construction of an energy future that leads to redefining the uninterrupted flow of time typical of the West, transcending the idea of the latter as a commodity to be exploited. Technology and energy, while pillars of modernity, can adapt to a temporality that accepts the natural cycles of abundance and scarcity: Design can anticipate a future in which human practices align with energy seasonality, educating for the acceptance of an intermittent technological presence, valuing the intervals necessary for the renewal of resources.

In this sense, this paper provides an initial conceptual basis to stimulate the scientific community to explore theories and experimental practices for the use of appropriate energy-efficient technologies, and to develop a renewed ‘energy-driven’ design paradigm from a systemic mapping of case studies in order to share knowledge in the form of principles, guidelines, and practices aimed at fostering their scalability.

Conclusions | Achieving ecological balance requires establishing new technological cycles (Perriccioli, Ruggiero and Salka, 2021); this change is held back by multiple obstacles, which include cultural, political, and social factors (Bauwens, Hekkert and Kirchherr, 2020). The practices described do not simply offer technical alternatives, but act as catalysts for the transition to a lifestyle with less

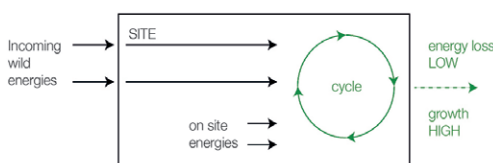
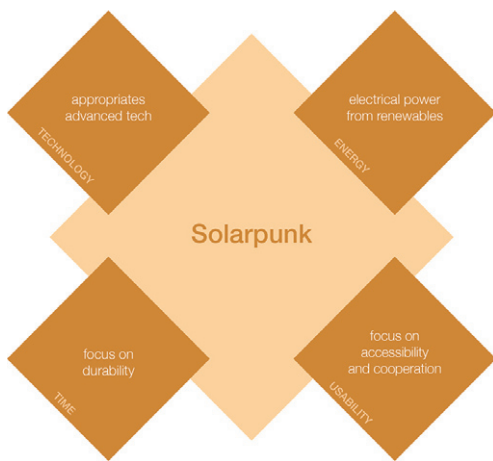


Fig. 10 | Mayapedal Pedal Mixer (source: Flickr.com, 2009).

Fig. 11 | Summary scheme of Solarpunk (credit: the Authors, 2024).

Fig. 12 | Timeline of the Solar Punk Festival co-design process (source: solarpunkfestival.com, 2018).

Fig. 13 | Descriptive diagram of the Permaculture concept of ‘energy cycling’ (credit: the Authors, 2024).

Acknowledgements

The contribution is the result of a common reflection of the Authors. Nevertheless, the introductory paragraphs, 'Energy consumption, time management, and usability' and 'Ecological visions for appropriate technology' are attributed to A. Vacanti, while the paragraphs 'Evolution of energy demand', 'Experimental paths' and 'Conclusions' are attributed to C. Leonardi.

Notes

- 1) For more information, see the webpage: ourworldindata.org/grapher/per-capita-energy-use [Accessed 16 March 2024].
- 2) The keywords used include 'permaculture', 'permaculture design', 'low-tech', 'low-tech design', 'solarpunk', 'solar AND punk', and 'solarpunk design'. The search returned 185 results regarding permaculture practices, as many as 530 results related to low-tech practice, and ten results containing the term Solarpunk.
- 3) For more information, see the webpage: homebiogas.com/shop/backyard-systems [Accessed 16 March 2024].
- 4) For more information, see the webpage: filodipaglia.it/filodifuoco/stube-info [Accessed 16 March 2024].
- 5) For more information, see the webpage: mayapedal.org [Accessed 16 March 2024].
- 6) For more information, see the webpage: malnutrition.org/our-technologies/vitagoat/vitagoat-system [Accessed 16 March 2024].
- 7) For more information, see the webpage: corporateknights.com/food-beverage/chocolately-good-pedal-powered-chococol-delivers-food-mission [Accessed 16 March 2024].
- 8) For more information, see the webpage: solarpunkfestival.com [Accessed 16 March 2024].
- 9) For more information, see the webpage: solarpunkfutures.in [Accessed 16 March 2024].

References

- Barbero, S. and Ferrulli E. (2023), "Transizione ecologica e digitale – Il Design Sistemico nei processi di innovazione aperta delle PMI | Ecological and digital transition – Systemic Design in SMEs open innovation processes", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 13, pp. 269-280. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/13232023 [Accessed 16 March 2024].
- Bauwens, T., Hekkert, M. and Kirchherr, J. (2020), "Circular futures – What will they look like?", in *Ecological Economics*, vol. 175, article 106703, pp. 1-14. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.106703 [Accessed 16 March 2024].
- Belkhir, L. and Elmeligi, A. (2018), "Assessing ICT global emissions footprint – Trends to 2040 & recommendations", in *Journal of Cleaner Production*, vol. 177, pp. 448-463. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.239 [Accessed 16 March 2024].
- Bihouix, P. (2020), *The Age of Low Tech – Towards a Technologically Sustainable Civilization*, Bristol University Press, Bristol.
- Bishop, C. P. (2021), "Sustainability lessons from appropriate technology", in *Current Opinion in Environmental Sustainability*, vol. 49, pp. 50-56. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.cosust.2021.02.011 [Accessed 16 March 2024].
- Bisson, M., Palmieri, S., Ianniello, A. and Botta, L. (2022), "Transition product design – Una proposta di framework per un approccio olistico alla progettazione sistemica | Transition product design – A framework proposal for a holistic approach to systemic design", in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 12, pp. 202-211. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/12182022 [Accessed 16 March 2024].
- Ceschin, F. and Gaziulusoy, I. (2019), *Design for Sustainability – A Multi-level Framework from Products to Socio-Technical Systems*, Routledge, London. [Online] Available at: doi.org/10.4324/9780429456510 [Accessed 16 March 2024].
- Climate Analytics (2023), *When will global greenhouse gas emissions peak?* [Online] Available at: tinyurl.com/5bcnaym9 [Accessed 16 March 2024].
- De Decker, K. (2017), "How (not) to run a modern society on solar and wind alone", in *Low-Tech Magazine*, 13/09/2017. [Online] Available at: tinyurl.com/4e3r4ac8 [Accessed 16 March 2024].
- Di Dio, S., Inzerillo, B., Monterosso, F. and Russo, D. (2022), "Design e transizione digitale – Nuove sfide design-driven per l'innovazione tecno-sociale | Design and digital transition – New design-driven challenges for techno-social innovation", in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 12, pp. 212-225. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/12192022 [Accessed 16 March 2024].
- Fagnoni, R. and Olivastri, C. (2019), "Hardsign vs Soft-design", in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 5, pp. 145-152. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/5162019 [Accessed 16 March 2024].
- Gaillard, C. and Bihouix, P. (2023), *Une antropologie pour comprendre les lo-tech*, Delpire & co, Paris.
- Han, B.-C. (2022), *Le non cose – Come abbiamo smesso di vivere il reale*, Einaudi, Torino.
- Henrich, J. (2022), *WEIRD – La mentalità occidentale e il futuro del mondo*, Il Saggiatore, Milano.
- Hunting, E. (2021), *Solarpunk – Design ed estetica postindustriale*, Future Fiction, Roma.
- Irwin, T. (2019), "The emerging transition design approach", in *Cuaderno | Cuadernos del Centro de Estudios en Diseño y Comunicación (Ensayos)*, vol. 73, pp. 149-181. [Online] Available at: doi.org/10.18682/cdc.vi73.1043 [Accessed 16 March 2024].
- Latouche, S. (2010), *Farewell to Growth*, Polity Press, Cambridge.
- Manzini, E. (2015), *Design, When Everybody Designs – An Introduction to Design for Social Innovation*, MIT Press, Cambridge. [Online] Available at: mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/1300011/mod_folder/content/0/Manzini%20E%20(2015)%20Design%2C%20When%20Everybody%20Designs.pdf?forcedownload=1 [Online] Available at: Mollison, B. (1988), *Permaculture – A designer's manual*, Tagari Publications, Tyalgum.
- Mollison, B. and Holmgreen, D. (1979), *Permaculture One – A perennial agricultural system for human settlements*, Tagari Publications, Tyalgum.
- Morton, T. (2016), *Dark Ecology – For a Logic of Future Coexistence*, Columbia University Press, New York.
- OIPE – Osservatorio Italiano Povertà Energetica (2020), *La povertà energetica in Italia – Secondo rapporto dell'Osservatorio Italiano sulla Povertà Energetica (OIPE)*. [Online] Available at: oipecosservatorio.it/wp-content/uploads/2020/12/rapporto2020_v2.pdf [Accessed 16 March 2024].
- Pain, I. and Pain, J. (1980), *The methods of Jean Pain – Or another kind of garden*. [Online] Available at: library.uniteddiversity.coop/Permaculture/Another_Kind_of_Garden-The_Methods_of_Jean_Pain.pdf [Accessed 16 March 2024].
- Papanek, V. (2022), *Design per il mondo reale – Ecologia umana e cambiamento sociale*, Quodlibet, Roma.
- Patnaik, J. and Tarei, P. K. (2022), "Analysing appropriateness in appropriate technology for achieving sustainability – A multi-sectorial examination in a developing economy", in *Journal of Cleaner Production*, vol. 349, article 131204, pp. 1-17. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131204 [Accessed 16 March 2024].
- Perriccioli, M., Ruggiero, R. and Salka, M. (2021), "Ecologia e tecnologie digitali – L'architettura alla piccola scala come luogo di connessioni | Ecology and digital technologies – Small-scale architecture as a place of connections", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 10, pp. 36-45. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1032021 [Accessed 16 March 2024].
- Pone, S. (2022), "Maker – Il ritorno dei costruttori – Una possibile transizione digitale per l'Architettura | Maker – The return of the builders – A possible digital transition for Architecture", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 12, pp. 14-23. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1212022 [Accessed 16 March 2024].
- Rau, T. and Oberhuber, S. (2023), *Material Matters – Developing business for a circular economy*, Routledge, London.
- Reina-Rozo, J. D. (2021), "Art, Energy and Technology – The Solarpunk Movement", in *International Journal of Engineering, Social Justice and Peace*, vol. 8, issue 1, pp. 47-60. [Online] Available at: doi.org/10.24908/ijesjp.v8i1.14292 [Accessed 16 March 2024].
- Rivero-Vadillo, A. (2022), "Challenging Solarpunk's Technophilia through Degrowth Imaginaries in Julia K. Patt's Caught Root and Linda Jordan's Reclaiming", in *Ecocene | Cappadocia Journal of Environmental Humanities*, vol. 3, issue 1, pp. 41-55. [Online] Available at: doi.org/10.46863/ecocene.64 [Accessed 16 March 2024].
- Schumacher, E. F. (1974), *Small is beautiful – Economics as if people mattered*, Sphere, London.
- Stevovic, S., Jovanovic, J. and Djuric, D. (2018), "Energy efficiency in urban areas by innovative permacultural design", in *Archives for Technical Sciences*, vol. 19, issue 1, pp. 65-74. [Online] Available at: doi.org/10.7251/afts.2018.1019.065S [Accessed 16 March 2024].
- Torchiani, G. (2023), "Energie rinnovabili – Stato dell'arte in Italia, Europa e nel mondo", in *energyup.tech*, 23/08/2023. [Online] Available at: energyup.tech/sostenibilita/energie-rinnovabili-quali-sono-vantaggi-e-stato-dell-arte-in-italia-e-nel-mondo/ [Accessed 16 March 2024].
- Tsao, J. Y., Saunders, H. D., Creighton, J. R., Coltrin, M. E. and Simmons, J. A. (2010), "Solid-state lighting – An energy-economics perspective", in *Journal of Physics D | Applied Physics*, vol. 43, issue 35, article 354001, pp. 1-17. [Online] Available at: dx.doi.org/10.1088/0022-3727/43/35/354001 [Accessed 16 March 2024].
- Vacanti, A., De Chirico, M., Leonardi, C. and Cason Villa, M. (2023), "Energy responsive design – A novel paradigm for human-technology interaction", in *Rivista Italiana di Ergonomia*, vol. 27, pp. 7-20. [Online] Available at: societadiergonomia.it/la-rivista_i-nerumeri/#rivista-italiana-di-ergonomia_n-27 [Accessed 16 March 2024].
- Wizinsky, M. (2022), *Design after Capitalism – Transforming design today for an equitable tomorrow*, MIT Press, Cambridge.
- Wrigley, E. A. (2013), "Energy and the English Industrial Revolution", in *Philosophical Transactions of the Royal Society A | Mathematical, Physical and Engineering Science*, vol. 371, 20110568. [Online] Available at: doi.org/10.1098/rsta.2011.0568 [Accessed 16 March 2024].
- Zanotto, F. (2020), *Circular Architecture – A design ideology*, LetteraVentidue Edizioni, Siracusa.

ARTICLE INFO

Received	18 March 2024
Revised	18 April 2024
Accepted	25 April 2024
Published	30 June 2024

SERVIZI PER IL RIUSO E IL RIPAROL'allestimento tra touchpoints e
infrastrutture relazionali**SERVICES FOR REUSE AND REPAIR**The arrangement between touchpoints
and relational infrastructures

Chiara Olivastri, Giovanna Tagliasco

ABSTRACT

Rispetto al tema dell'economia circolare e delle strategie il testo descrive il progetto di ricerca / azione legato all'allestimento di un nuovo Centro del Riuso e del Riparo all'interno della rete Surpluse. Il paper ha l'obiettivo di illustrare le scelte progettuali dell'allestimento, considerato come touchpoint per la definizione di una rete (servizio) e per facilitare le interazioni tra gli oggetti di seconda mano esposti e gli utenti. Il modello proposto diviene un format da declinare nella realizzazione di nuovi centri futuri e nell'implementazione di quelli già in essere; inoltre mira a incentivare comportamenti a favore di strategie di sostenibilità e a sensibilizzare i cittadini alla partecipazione attiva all'interno e a favore dell'economia circolare, co-progettando le relazioni tra i diversi stakeholder interessati.

Regarding the circular economy and strategies, this paper describes the research/action project related to establishing a new Reuse and Repair Centre within the Surpluse network. The paper aims to illustrate the design choices of the setup, considered as a touchpoint for the definition of a network (service) and to facilitate interactions between displayed second-hand items and users. The proposed model becomes a format to be adapted in the creation of new future centres and the implementation of existing ones; furthermore, it aims to incentivise behaviours in favour of sustainability strategies and raise awareness among citizens for active participation within and in favour of the circular economy, co-designing relationships among the various stakeholders involved.

KEYWORDS

economia circolare, allestimento, touchpoint, riuso e riparo, design dei servizi

circular economy, setup, touchpoint, reuse and repair, service design



Chiara Olivastri is an Associate Professor in Design at the University of Genova (Italy). Her research focuses on service design, particularly on circular economy and social innovation processes, which can engage communities and enhance physical and immaterial contexts. E-mail: chiara.olivastri@unige.it

Giovanna Tagliasco, PhD, is a Research Fellow at the University of Genova (Italy). She studies the effectiveness of service design tools and their communicative capacity, researching strategies to visualise complex processes. She also delves into various disciplinary fields, paying particular attention to design for social innovation and circular economy. E-mail: giovanna.tagliasco@edu.unige.it

Riutilizzo, riparazione, up-cycling sono alcune delle strategie per non sprecare e recuperare l'energia incorporata di un prodotto nel suo valore d'uso, come suggerisce l'economia circolare (Stahel, 1994; Ellen MacArthur Foundation, 2013; Blomsma and Tennant, 2020). I Centri di Riuso e Riparo (CRR) sono spazi creati per incoraggiare l'adozione di queste strategie, luoghi dedicati allo scambio e vendita di beni usati, come mobili, oggetti, libri e vestiti. In Europa, ad esempio, diversi progetti Interreg mostrano attenzione su questo tema nella definizione e implementazione dei centri del riuso (Interreg Europe, 2022). Con un focus specifico sulla riparazione, a livello internazionale, è possibile citare la rete dei Repair Caf ¹, ideata da Martine Postma nel 2007 nei Paesi Bassi, con l'idea di creare un luogo di cura dei beni dove poter scambiare strumenti, saperi e componenti per prolungare la vita degli oggetti. Negli ultimi anni questa rete si è diffusa ed è entrata a far parte del dibattito come soluzione implementabile (Moalem and Mosgaard, 2021), principio ribadito e ufficializzato nel novembre 2023 dal Parlamento Europeo con il 'right to repair' per i consumatori (European Parliament, 2023).

Il Comune di Genova alla fine del 2020 ha aperto nel Quartiere di Coronata il primo CRR della rete Surpluse (Fagnoni et alii, 2022), una rete che ambisce a divenire capillare sul territorio con pi  Centri di diverse dimensioni: piccoli, medi, grandi, con la conseguente differenziazione del tipo di attivit  e di esposizione a seconda del tipo di spazi.

All'interno del paper verr  illustrato il progetto di allestimento dell'ultimo CRR Surpluse inaugurato a settembre 2023 in Via Bologna, un ex mercato comunale riconvertito e ristrutturato dopo un periodo di abbandono (Fig. 1). La nuova apertura rientra nel progetto C-City Genova Citt  Circolare finanziato dal React EU Pon-Metro Citt  Metropolitana 2014-2020 – Asse 6 'Ripresa verde, digitale e resiliente' – Azione 6.1.4 'Qualit  dell'ambiente e adattamento ai cambiamenti climatici'. Il progetto, che nasce dalla collaborazione tra Comune di Genova, AMIU (Azienda Multiservizi di Igiene Urbana) e Dipartimento di Architettura e Design (DAD) dell'Universit  di Genova, consta di uno spazio con tre funzioni principali: la prima   quella di Centro del riuso, cio  uno spazio dove i cittadini possono portare i loro oggetti che non usano pi  e prenderne altri di loro interesse; la seconda   di spazio multimediale per incontri, conferenze e piccoli laboratori di educazione ambientale; la terza di spazio di riparazione di beni che hanno bisogno di manutenzione o piccole modifiche.

Se si considera la rete come un servizio   necessario caratterizzare i diversi elementi, come l'identit  visiva, gli artefatti, i diversi touchpoints o evidenze (Lynn Shostack, 1982) con lo stesso linguaggio e la stessa estetica; anche le interazioni sono elementi che fanno parte del sistema e devono essere progettate in relazione agli altri elementi, con lo stesso approccio estetico (Pacenti, 2019). La brand identity, che viene veicolata attraverso il logo, i colori e tutta la comunicazione visiva, diventa uno dei touchpoint per il riconoscimento della rete Surpluse (Fagnoni et alii, 2022); anche il coordinamento dell'identit  visiva diventa fondamentale in questi contesti, per una migliore fruizione dell'esperienza (Sinni, 2018) e per il riconoscimento dei valori che diffonde (Pei and Zurlo, 2019). Tuttavia l'identit  non si limita alla comunicazione visiva, ma anche alla gestione e alla co-

struzione dello spazio come punto di contatto tra l'utente che esperisce il servizio e la rete.

Partendo da questa caratteristica non comune a tutti i servizi il contributo approfondisce la relazione tra Spatial Design e Service design (De Rosa, 2022), descrivendo le scelte progettuali del CRR per illustrare come l'allestimento diventa touchpoint fondamentale di un servizio, con l'obiettivo di attivare nuovi comportamenti all'interno di una comunit  cittadina. Allo stesso tempo il progetto risulta uno spazio critico di riflessione sulla relazione di ambiti disciplinari differenti che si intersecano e a loro volta diventano strumento per supportare strategie di sostenibilit  ed economia circolare.

Etica ed estetica dello spazio e del servizio |

Rispetto ai quattro livelli di innovazione per il Design for Sustainability (DfS) proposti da Ceschin e Gaziulusoy (2016), il progetto potrebbe essere incluso in 'livello di innovazione spazio-sociale', poich  il contesto sociale e il luogo in cui vengono sviluppati questi tipi di progetti sono fondamentali. Quando un servizio agisce su una dimensione territoriale locale, cittadina o di quartiere,   pi  probabile che abbia bisogno di uno spazio fisico, progettato in relazione agli altri touchpoint, per supportare un coinvolgimento pi  attivo degli utenti (Calvo and De Rosa, 2017). In quest'ottica il rapporto tra spazio e servizio negli ultimi anni   stato sempre maggiormente indagato (Felix, 2011; Van Geetsom, 2018; Van Geetsom and Wilkinson, 2021).

L'idea degli 'spazi abilitatori di una rete di servizi' (De Rosa, 2022) sottolinea la necessit  di caratterizzare efficacemente lo spazio, proprio perch  il servizio, per definizione intangibile (Zeithaml, Parasuraman and Berry, 1985), definisce la tipologia di azioni e interazioni che l'utente   chiamato a fare, come scambio di oggetti, di saperi ecc., ma sono lo spazio e l'allestimento che possono attivare e facilitare le azioni legate al servizio (Bitner, 1992).

In quest'ottica la relazione tra spazio, movimento ed evento, intesa come dinamica tra spazio fisico, movimento del corpo e quello che accade tra uso e funzione (Tschumi, 2005; Crippa and Di Prete, 2011) nel CRR diventa ancora pi  esemplare. Infatti lo spazio viene frequentemente modificato dall'entrata e uscita di oggetti che acquistano o lasciano una posizione, creando un dinamismo che consente l'appropriazione del luogo (Deni, 2018), inteso come la sede di scambi che contribuiscono alla co-creazione di una comunit  che condivide valore e principi.

Il CRR diventa spesso sede di eventi, che movimentano flussi diversi di utenti e testano possibili collaborazioni tra associazioni del Terzo Settore e utenti disponibili a creare interessanti relazioni. Il progetto della rete Surpluse mira a stimolare valori di responsabilit  e partecipazione attiva legati alla sostenibilit  ambientale; per questo lo spazio fisico ha bisogno di una nuova estetica che rifletta l'idea etica che vuole promuovere. Come sostiene Findeli (1994, p. 66): «The fact that ethics and aesthetics both deal with values is another reason to build a bridge between these two seemingly foreign realms».

Il ruolo estetico di uno spazio come il CRR aiuta a elevare un bene da rifiuto a nuova risorsa, inserendolo in un contesto pi  ampio di cura, riappropriazione e valorizzazione. In tale processo gli

oggetti considerati ormai senza alcun senso riacquisiscono valore di scambio, accrescendo di valore etico la transazione attraverso l'innovazione di significato (Cautela and Rampino, 2019), mentre gli spazi diventano contenitori di valori (De Rosa, 2022) che, attraverso gli oggetti, la cura e lo scambio, diventano luoghi in cui si diffondono azioni etiche come la sostenibilit , la riusabilit  e la manutenzione, per dare ai beni una seconda vita e un nuovo significato estetico o d'uso. La letteratura dimostra una ricerca attiva sulle attivit  di recupero e riparazione (Tyl and Allais, 2019), mentre poco numerosi sono i casi studio che riguardano l'allestimento di questi tipi di spazio.

Allestimento | Il tema dell'allestimento, secondo una visione di economia circolare,   affrontato attraverso l'utilizzo di arredi in cartone per eventi, in termini di prodotto, o la nascita dei Centri di Riuso dedicati al tema dell'allestimento, in termini di servizio, per ridurre l'impatto ambientale del mondo dell'arte, della moda e del design (Crippa et alii, 2022). Nell'allestimento di un CRR la sfida   riuscire a mettere gli oggetti usati sotto una nuova luce, per dare all'utente una nuova percezione in merito alla possibilit  di utilizzo e quindi un nuovo valore:   questo il ruolo dell'allestimento dello spazio. In linea con queste finalit  si riporta il caso studio del progetto di allestimento del Reuse Centre Ostrava, individuato come buona pratica dal programma CECI Interreg Europe, che suddivide gli articoli non in base alla funzione ma in base al colore, fornendo all'utente un nuovo modo di fruizione dello spazio e degli oggetti esposti (Medkova, 2022).

La centralit  dell'allestimento, in quanto interfaccia dell'interazione dell'utente con il servizio (Bonsiepe, 1995), assume un ruolo funzionale, ma non solo: diventa infrastruttura di valore. Si potrebbe parlare di una estetica del riuso, dove l'allestimento diviene la scenografia che pone su un piedistallo il soggetto in scena e d  visibilit  a oggetti alla ricerca di un nuovo significato.

Per questo il progetto dell'allestimento del nuovo CRR in Via Bologna si fonda su un equilibrio tra arredi riusati e moduli creati ad hoc per definire uno spazio contemporaneo e flessibile. L'inserimento degli arredi riusati, provenienti dal CRR di Coronata e dal mercatino dell'usato Emmaus, ha lo scopo di mostrare le potenzialit  degli oggetti di seconda mano, che spesso sono portatori sani di storie di chi li ha posseduti e generatori di ricordi per chi li osserva e di sentire lo spazio come un bene comune (Figg. 2, 3).

Altri arredi sono stati costruiti da Lab85 e AD HOC con un progetto del DAD sviluppato nel progetto FORCE² (Fagnoni et alii, 2022), gi  usato per il primo CRR Surpluse di Coronata, basato su un sistema modulare e versatile che permette diverse configurazioni per caratterizzare tutti i centri e poterli riconoscere sotto la stessa identit . Alcuni oggetti come sedie, specchi, appendiabiti, armadietti, sono stati reinterpretati attraverso strategie di up-cycling³ e sono stati inseriti nell'allestimento permanente dello spazio (Figg. 4-9). L'utilizzo di strategie di up-cycling, dissolvendo il vecchio e il nuovo (Wegener, 2016), evidenzia la relazione tra passato e presente come il punto focale su cui l'allestimento vuole lavorare (Sung and Dao, 2021). Come si evince dal catalogo digitale open-source Unwanted Furniture⁴, esistono diverse strategie di design circolare e sostenibile che possono es-



Fig. 1 | Surpluse Reuse and Repair Centre in Via Bologna (Genova) seen from the street: visual identity (2019) has been designed by G. Caruzzi (credit: G. Tagliasco, 2024).

sere utilizzate per estendere il ciclo di vita di oggetti obsoleti.

Suddivisione degli spazi | Lo spazio espositivo del CRR di Via Bologna è progettato per ospitare mobili di medie dimensioni e piccoli oggetti, che le persone possono prendere o lasciare, per ora senza uno scambio di denaro. Una parte dello spazio è dedicata al bookcrossing, richiesto dal Municipio, dove si possono portare e prendere libri, o fermarsi per leggerli (Figg. 10, 11).

Al centro della struttura si trova un Repair Café, il primo della Città di Genova, registrato all'interno della rete internazionale sopra citata. Seguendo l'idea originaria parte dello spazio è stato dedicato al ristoro, pretesto per scambio di opinioni e pause relazionali, con un bancone contaminato da una parete attrezzata con strumenti per attività di re-design e piccole riparazioni, inseriti in contenitori tascabili realizzati dall'Associazione Sc'art (Creazioni al Fresco), riciclando banner in pvc (Fig. 12). Si configura così un vero e proprio spazio ibrido, un laboratorio, un'officina, una sala bar con tavoli alti per ospitare attività di laboratorio e workshop, uno spazio per lo scambio di beni materiali e di conoscenze e saperi, per diffondere la cultura della cura delle cose.

La terza area è stata allestita come aula multimediale attrezzata per incontri, riunioni e attività di educazione ambientale e sensibilizzazione. Al di sotto dello schermo per le presentazioni con i moduli in legno è stato composto un grande tavolo che caratterizza lo spazio e che può essere utilizzato come tavolo per relatori oppure come banco di lavoro in caso di laboratori e attività pratiche.

Le sedute dello spazio sono state invece oggetto di un workshop organizzato dal DAD, dal titolo Colour Makers con l'obiettivo di ripensare esteticamente una trentina di sedie recuperate dal CRR di Coronata e dal mercato dell'usato Emmaus: ai partecipanti è stato chiesto di hackerare e caratterizzare le sedie utilizzando i colori della brand identity del Centro: azzurro, magenta e viola, oltre a bianco e nero. Le sedie imbottite, in legno mono-

materico o con paglia viennese, hanno assunto una nuova veste, esaltando dettagli quasi estinti dal tempo o proponendo un nuovo linguaggio espressivo che richiama il precedente. Le sedie così trasformate si inseriscono perfettamente nello spazio e ne rafforzano l'identità che diviene coordinata, mostrando inoltre le diverse opzioni che gli utenti possono attuare sui loro beni con strategie diverse (Figg. 13-15).

Riflessioni conclusive e scenari futuri | Obiettivo del progetto è diffondere una cultura del riuso e del riparo attraverso l'espansione capillare della rete su tutto il territorio genovese e non solo, costruendo relazioni e filiere tra i diversi CRR dello stesso territorio e scambi anche con quelli di altri territori. Il ruolo del design nel costruire reti e filiere in ottica di sostenibilità sta diventando sempre più evidente (Germak, 2019) e l'identità visiva diviene elemento necessario per costituire un legame di appartenenza a un ampio progetto di cambiamento. Il colore e la costruzione di un marchio, che si declina anche nella caratterizzazione dello spazio, hanno sicuramente un ruolo centrale nella comunicazione e nella diffusione della rete, come anche nella creazione di uno spazio caratterizzato da un linguaggio fresco e contemporaneo che si rivolge soprattutto alle giovani generazioni, protagoniste – sui canali social e online – di un trend in cui si identificano come le maggiori interessate alla compravendita di usato in diversi settori merceologici (Banaji and Buckingham, 2009).

E ancora, il contributo del Design nel progetto dello spazio come touchpoint è volto a massimizzare l'immagine coordinata del servizio come elemento aggregante di una miriade di caratteri e stili, che entrano in maniera non regolata nello spazio, e quindi a rafforzare l'identità dello spazio e di conseguenza del servizio di cui fa parte, facilitando il lavoro del gestore nella diffusione dei valori che la rete Surpluse esprime. Gli elementi su cui è necessario lavorare in futuro sono certamente le diverse relazioni che si possono instaurare tra i Centri e il Quartiere, in quanto leve centrali del successo e del radicamento tra i cittadini. Solo grazie

all'attivazione di rapporti con Scuole, Associazioni o realtà del contesto si può costruire un senso di appartenenza, altrimenti lo spazio rischia di rimanere un'affascinante vetrina dell'usato affiancabile alle innumerevoli già esistenti, infatti i limiti di questi processi, riscontrati anche da altri autori (Gobert and Allais, 2019), riguardano la capacità di coinvolgere al meglio le parti interessate.

Un altro elemento non secondario è l'implementazione del servizio con gli altri già offerti dall'azienda partecipata di igiene urbana AMIU. Ad esempio, durante il progetto Efficacy sulla gestione dei rifiuti ingombranti (Olivastri and Tagliasco, 2023) è stato sviluppato un Piano di integrazione tra il servizio porta a porta di ritiro di oggetti ingombranti in punti strategici della città e i CRR, con l'obiettivo di capire come intercettare un bene ancora in buono stato e convogliarlo verso filiere di economia circolare, azione che peraltro comporta anche un notevole risparmio, oltre che di CO₂, anche in termini economici di spesa pubblica. Negli scenari futuri l'intenzione, che si può tradurre in una buona prassi, è collocare il CRR accanto a un'isola ecologica o nelle immediate vicinanze di un punto di raccolta ingombranti del quartiere.

L'altro tema interessante è l'ampliamento dello spazio del Repair Café con la prospettiva di avere un'officina attrezzata per le riparazioni, ma anche per le attività di up-cycling, implementando l'approccio del Design-led Repair and Reuse, che suggerisce un apparato teorico di supporto a strategie applicative dal basso (D'Urzo and Campagnaro, 2023).

Contrariamente a quanto si è soliti pensare sui servizi, che siano basati su infrastrutture digitali e community per poi, a volte, svilupparsi anche su dei touchpoints fisici, la rete dei CRR si configura come un servizio capovolto, che parte e si diffonde su spazi fisici e comunità di cittadini per poi digitalizzarsi, in uno scenario necessario prossimo futuro. La digitalizzazione, infatti, assume il ruolo di amplificatore del raggio di azione e di influenza, ottimizzando i problemi di mancanza di spazio per lo stoccaggio, mettendo a sistema tutto quello già presente nei diversi punti e di fatto moltiplicando i magazzini in un unico archivio / vetrina digitale più accessibile e più comunicabile.

I limiti principali del caso applicativo riportato (CRR di Via Bologna) riguardano due aspetti: il tempo di permanenza dei prodotti e la gestione attuale. Rispetto al primo aspetto è da rilevare che il Centro è stato inaugurato a fine settembre 2023 e pertanto mancano ancora dati su quantitativi e tipologie di merce raccolti, attività organizzate e numero di partecipanti che permetterebbero di elaborare statistiche e trend. Un primo confronto diretto sulla parte espositiva può essere fatta con il primo CRR di Coronata che, di dimensioni più piccole, ha prodotto un allestimento con una quantità di merce esposta che ha svilito l'immagine del servizio e di riflesso anche quello della merce esposta. Il secondo aspetto riguarda la gestione ancora provvisoria in capo ad AMIU, che garantisce una parziale apertura del Centro e non ha ancora attivato il metodo di tracciamento automatizzato, che porterebbe a registrare digitalmente tutte le operazioni di scambio.

Il metodo applicato nella progettazione dell'allestimento come touchpoint è stato concepito da subito come un format, quindi replicabile in altri

contesti con pratiche di economia circolare e non solo. Anche i luoghi della cultura, come biblioteche e musei, possono essere considerati servizi caratterizzati da una dimensione sia digitale che analogica in cui adottare il format del touchpoint, potenziando la riconoscibilità e le possibilità di fruizione attraverso l'allestimento di uno spazio che si definisce in stretta relazione con l'identità dell'intero servizio. Nella definizione stessa di touchpoint, infatti, è insito il fine di guidare e configurare l'esperienza degli utenti (Penin, 2018), modellare e favorire i loro comportamenti e proseguire le relazioni con gli utenti anche dopo la fine del servizio, adattandosi facilmente a nuove funzioni o a mutamenti di esigenze al contorno; in tal modo il touchpoint diviene portatore del valore di un servizio che rende memorabile e significativa l'esperienza utente al quale è associato, generando fidelizzazione.

Repair, reuse, and up-cycling are some of the strategies for not wasting and recovering a product's embedded energy in its use value, as suggested by the circular economy (Stahel, 1994; Ellen MacArthur Foundation, 2013; Blomsma and Tennant, 2020). Reuse and Repair Centres (RRCs) are created to encourage the adoption of these strategies; they are places dedicated to exchanging and selling used goods, such as furniture, objects, books, and clothing. In Europe, for example, several Interreg projects focus on this issue in defining and implementing reuse centres (Interreg Europe, 2022). With a specific focus on repair at the international level, it is possible to mention the Repair Café network¹, conceived by Martine Postma in 2007 in the Netherlands, with the idea of creating a place to care for goods where tools, knowledge and components can be exchanged to extend the life of objects. In recent years, this network has spread and become part of the debate as an implementable solution (Moalem and Mosgaard, 2021), a principle reaffirmed and made official in November 2023 by the European Parliament with the 'right to repair' for consumers (European Parliament, 2023).

At the end of 2020, the City of Genova opened the first RRC of the Surpluse network in the Coronata District (Fagnoni et alii, 2022), a network that aspires to become widespread in the territory with multiple Centres of different sizes: small, medium, large, with the consequent differentiation of the type of activities and exposure depending on the type of spaces.

Within the paper, the project to set up the latest Surpluse RRC, which opened in September 2023 in Via Bologna, a converted former municipal market renovated after a period of neglect (Fig. 1), will be illustrated. The new opening is part of the C-City Genova Circular City project funded by the React EU Pon-Metro Metropolitan Cities 2014-2020 – Axis 6 'Green, Digital and Resilient Recovery' – Action 6.1.4 'Environmental Quality and Climate Change Adaptation'. The project, which is the result of a collaboration between the City of Genova, AMIU (Azienda Multiservizi di Igiene Urbana) and the Department of Architecture and Design (DAD) of the University of Genova, presents a space with three main functions: the first is that of a Reuse Centre, that is, a place where citizens can bring their objects they no longer use and take others of

their interest; the second is a multimedia space for meetings, conferences and small environmental education workshops; and the third is a space for repairing goods that need maintenance or minor modifications.

Suppose one considers the network as a service, it is necessary to characterise the different elements, such as visual identity, artefacts, and other touchpoints or evidences (Lynn Shostack, 1982) with the same language and aesthetics; interactions are also elements that are part of the system and must be designed in relation to the other elements, with the same aesthetic approach (Pacenti, 2019). Brand identity, which is conveyed through the logo, colours, and all visual communication, becomes one of the touchpoints for the recognition of the Surpluse network (Fagnoni et alii, 2022); the coordination of visual identity also becomes crucial in these contexts, for better enjoyment of the experience (Sinni, 2018) and for the recognition of the values it spreads (Pei and Zurlo, 2019). However, identity is not limited to visual communication, but also to the management and construction of the space as a point of contact between the user experiencing the service and the network.

Starting from this uncommon feature of all services, the contribution explores the relationship between Spatial Design and Service design (De Rosa, 2022), describing the RRC's design choices to illustrate how the layout becomes a fundamental touchpoint of a service, to activate new behaviours within a city community. At the same time, the project results in a critical space for reflection on the relationship of different disciplinary fields that intersect and in turn become a tool to support sustainability and circular economy strategies.

Ethics and aesthetics of space and service |

Concerning the four levels of innovation for Design for Sustainability (DfS) proposed by Ceschin and Gaziulusoy (2016), the project could be included in the spatial-social innovation level, since the social context and place where these types of projects are developed are crucial. When a service acts on a local, city or neighbourhood territorial dimension, it is more likely to need a physical space designed for other touchpoints to support more active user engagement (Calvo and De Rosa, 2017). With this in mind, the relationship between space and service has been increasingly investigated recently (Van Geetsom and Wilkinson, 2021; Van Geetsom, 2018; Felix, 2011).

The idea of the 'spaces that are enablers of the service network' (De Rosa, 2022) underscores the need to effectively characterise space, precisely because service, by definition intangible (Zeithaml, Parasuraman and Berry, 1985), defines the type of actions and interactions that the user is called upon to do, such as exchanging objects, knowledge, etc.; however, it is the space and the setting that can activate and facilitate service-related actions (Bitner, 1992).

From this perspective, the relationship between space, movement and event is understood as the dynamic between physical space, body movement and what happens between use and function (Crippa and Di Prete, 2011; Tschumi, 2005) in RRC becomes even more exemplary. In fact, space is frequently modified by the entry and exit of objects that acquire or leave a position, creating a dynamism that enables the appropriation of place (Deni, 2018),

understood as the site of exchanges that contribute to the co-creation of a community that shares value and principles.

The RRC often becomes a venue for events, which move different flows of users and test possible collaborations between Third Sector associations and users willing to create interesting relationships. The Surpluse network project aims to stimulate values of responsibility and active participation related to environmental sustainability; therefore, the physical space needs a new aesthetic that reflects the ethical idea it wants to promote. As Finkel (1994, p. 66) argues, «The fact that ethics and aesthetics both deal with values is another reason to build a bridge between these two seemingly foreign realms».

The aesthetic role of a place like the RRC helps elevate a commodity from waste to a new resource by placing it in a larger context of care, reappropriation, and valorisation. In such a process, objects now considered meaningless regain exchange value, ethically enhancing the transaction through innovation of meaning (Cautela and Rampino, 2019), while spaces become containers of values (De Rosa, 2022) that, through objects, care and exchange, become places where ethical actions such as sustainability, reusability and maintenance are disseminated to give goods a second life and a new aesthetic meaning or use. The literature demonstrates active research on salvage and repair activities (Tyl and Allais, 2019), while there are few case studies concerning the setting up of these types of spaces

Setup | The theme of setup, according to a circular economy vision, is addressed through the use of



Figg. 2, 3 | Set up of the Surpluse Reuse and Repair Centre in Via Bologna, Genova (2023/2024), designed by the DAD (UniGe) and AMIU: furniture (from the Surpluse Reuse and Repair Centre in Coronata and the Emmaus flea market and citizens); some treaties according to the upcycling strategy (2023) made during the Colour Makers Workshop Furniture by the students and tutor of the DAD; (UniGe) modules (2023), designed by the DAD (UniGe) and realised by AD HOC (credits: G. Tagliasco, 2023, 2024).

cardboard event furniture (in terms of product) or the birth of Reuse Centres dedicated to the theme of outfitting (in terms of service) to reduce the environmental impact of the art, fashion and design world (Crippa et alii, 2022). In the setting up of an RCC, the challenge is to be able to put used objects in a new light, to give the user a new perception regarding the possibility of use and thus a new value: this is the role of the setting up of the space. In line with these aims, we report the case study of the Ostrava Reuse Centre's exhibition design, identified as good practice by the CECL Interreg Europe program, which divides items not by function but by colour, providing the user with a new way of enjoying the space and the exhibits (Medkova, 2022).

The centrality of the setup, as the interface of the user's interaction with the service (Bonsiepe, 1995), takes on a functional role, but not only: it becomes an infrastructure of value. One could speak of an aesthetics of reuse, where the setting be-

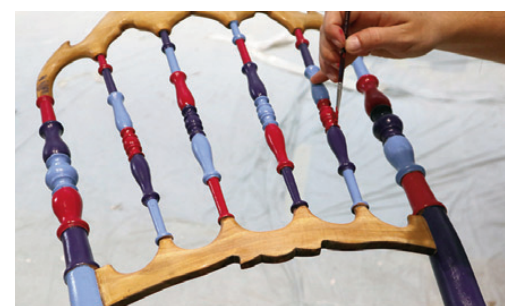
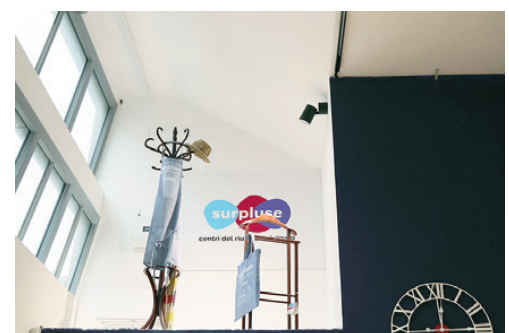
comes the scenography that places the staged subject on a pedestal and gives visibility to objects in search of new meaning.

For this reason, the design of the layout of the new Reuse and Repair Centre in Via Bologna is based on a balance between reused furniture and specially created modules to define a contemporary and flexible space. The inclusion of reused furniture – from the Coronata Reuse and Repair Centre and the Emmaus flea market – aims to show the potential of second-hand objects, which are often healthy carriers of stories of those who have owned them and generators of memories for those who observe them and feel the space as a common good (Figg. 2, 3).

Lab85 and AD HOC built other furniture with a DAD design developed in the FORCE² project (Fagnoni et alii, 2022), already used for the first Surpluse Reuse and Repair Centre in Coronata, based on a modular and versatile system that allows dif-

ferent configurations to characterise all centres and be able to recognise them under the same identity. Some objects – such as chairs, mirrors, coat racks, and cabinets – were reinterpreted through up-cycling strategies³ and were included in the permanent layout of the space (Figg. 4-9). The use of up-cycling strategies, dissolving the old and the new (Wegener, 2016), highlights the relationship between the past and the present as the focal point on which the exhibition design aims to work (Sung and Dao, 2021). As shown in the open-source digital catalogue Unwanted Furniture⁴, several circular and sustainable design strategies can extend obsolete objects' life cycle.

Space allocation | The exhibition space at the Reuse and Repair Centre in Via Bologna is designed to house medium-sized furniture and small objects, which people can take or leave for now without an exchange of money. City Hall requested that part



Figg. 4-9 | Set up of the Surpluse Reuse and Repair Centre in Via Bologna (2023/2024), designed by the DAD (UniGe) and AMIU: up-cycling of second-hand chairs (including an assumed model of Chiavarina) and objects (2023) from the Surpluse Reuse and Repair Centre in Coronata and the Emmaus flea market, made during the Colour Makers Workshop Furniture and by citizens; modules (2023), designed by the DAD (UniGe), realised by AD HOC and Lab85; Object holders (2023) designed by Sc'art, Creazioni al Fresco; visual identity (2019), designed by G. Caruzzi (credits: G. Tagliasco; C. Olivastri, 2023, 2024).

Next page

Figg. 10, 11 | Bookcrossing area (2023/2024), set up designed by the DAD (UniGe) and AMIU; modules (2023), designed by the DAD, realised by AD HOC; some furniture from the Surpluse Reuse and Repair Centre in Coronata and the Emmaus flea market and citizens (credits: G. Tagliasco, 2023, 2024).

Fig. 12 | Repair Café area and object holders (2023), designed by Sc'art, Creazioni al Fresco; modules (2023), designed by the DAD (UniGe), realised by AD HOC; some chairs from the Surpluse Reuse and Repair Centre in Coronata and the Emmaus flea market (credit: G. Tagliasco, 2023).

of the space be dedicated to bookcrossing, where people can bring and take books or stop by to read them (Figg. 10, 11).

The facility's centre is also a Repair Café, the first in the City of Genova, registered within the international network mentioned above. Following the original idea, part of the space has been dedicated to refreshments, a pretext for the exchange of opinions and relational breaks, with a counter contaminated by a wall equipped with tools for redesign activities and minor repairs, placed in pocket containers made by the Sc'art Association (Creazioni al Fresco), recycling pvc banners (Fig. 12). This configures an actual hybrid space, a laboratory, a workshop, a bar room with high tables to host laboratory activities and workshops, a space for the exchange of material goods and knowledge and know-how, to spread the culture of caring for things.

The third area has been set up as a multimedia classroom equipped for meetings, gatherings, and environmental education and awareness activities. Below the screen for presentations with wooden modules, a large table can be composed to characterise the space, which can be used as a table for speakers or as a workbench in case of workshops and hands-on activities.

The seating in the space underwent a workshop organised by the DAD, titled Colour Makers. The workshop aimed to aesthetically reimagine around thirty chairs sourced from the Coronata Reuse and Repair Centre and the second-hand market Emmaus. Participants were tasked with creatively modifying and characterising the chairs using the colours of the Centre's brand identity: light blue, magenta, and violet, in addition to white and black. Upholstered chairs, mono-material wooden chairs, or those with Viennese straw took on a new appearance, accentuating details almost lost to time or proposing a new expressive language reminiscent of the former. These transformed chairs seamlessly integrate into the space, reinforcing its coordinated identity and showcasing the various options users can employ on their belongings through different strategies (Figg. 13-15).

Concluding reflections and future scenarios |

The project aims to promote a culture of reuse and repair through the widespread expansion of the network throughout the Genova area and beyond, building relationships and supply chains between different Reuse and Repair Centres in the same location and exchanges with those in other areas as well. The role of design in building networks and supply chains with a view to sustainability is becoming increasingly evident (Germak, 2019). Visual identity becomes a necessary element to form a bond of belonging to a broad project of change. Colour and the construction of a brand, which is also reflected in the characterisation of the space, certainly play a central role in the communication and dissemination of the network, as well as in the creation of a space characterised by a fresh and contemporary language that appeals primarily to the younger generations, protagonists – on social and online channels – of a trend in which they identify themselves as the most interested in buying and selling used goods in different commodity sectors (Banaji and Buckingham, 2009).

Moreover, the contribution of Design to the project of the space as a touchpoint is aimed at max-



imising the coordinated image of the service as an aggregating element of a myriad of characters and styles, which enter the space in an unregulated manner, and thus strengthen the identity of the space and consequently of the service of which it is a part, facilitating the work of the manager in disseminating the values that the Surplus network expresses. The elements that need to be worked on in the future are certainly the different relationships that can be established between the Centres and the Neighbourhood as central levers of success and rootedness among citizens. It is only through the

activation of relationships with Schools, Associations or contextual realities that a sense of belonging can be built; otherwise, the space risks remaining a charming showcase of second-hand items that can be placed side by side with the countless existing ones. In fact, the limitations of these processes, also found by other authors (Gobert and Allais, 2019), concern the ability to engage stakeholders best.

Another significant element is implementing the service with others already offered by the participatory urban hygiene company AMIU. For example,



Figg. 13-15 | Up-cycling of second-hand chairs and objects (2023) from the Surpluse Reuse and Repair Centre in Coronata and the Emmaus flea market, made during the Colour Makers Workshop Furniture; modules (2023), designed by the DAD (UniGe), realised by AD HOC and Lab85; object holders (2023) designed by Sc'art, Creazioni al Fresco (credits: G. Tagliasco; C. Olivastri, 2023, 2024).

during the Efficacy project on bulky waste management (Olivastri and Tagliasco, 2023), an Integration Plan was developed between the door-to-door service of picking up bulky items at strategic points in the city and RRC, with the aim of understanding how to intercept goods still in good condition and channel it into circular economy supply chains. Such an action moreover also results in significant savings, not only in terms of CO₂ emissions but also in terms of public spending. In future scenarios, the intention, which can be regarded as the best practice, is to place the RRC next to an ecological island or near a bulky waste collection point in the neighbourhood.

The other interesting theme is the expansion of the Repair Café space, with the prospect of having a workshop equipped for repairs and upcycling activities. This would implement the Design-led Reuse and Repair approach, which suggests a theoretical apparatus to support bottom-up application strategies (D'Urzo and Campagnaro, 2023).

Contrary to what is usually thought about services, which are based on digital infrastructures and communities and then, sometimes, develop on physical touchpoints, the RRC network is configured as an inverted service, which starts and spreads to

physical spaces and communities of citizens and then digitises, in a necessary future scenario. Digitalisation, in fact, assumes the role of amplifying the range of action and influence, optimising problems of lack of storage space by systematising everything already present in the various locations and effectively multiplying warehouses into a single, more accessible and communicable digital archive / showcase.

The main limitations of the reported case study (RRC in Via Bologna) relate to the length of time the products have been in place and current management. Concerning the first aspect, it should be noted that the Centre was inaugurated at the end of September 2023 and, therefore, data on quantities and types of goods collected, organised activities, and number of participants that would allow statistics and trends to be developed are still lacking. A first direct comparison of the exhibition part can be made with the first RRC in Coronata, which was smaller in size and produced a set-up with a quantity of merchandise on display that debased the image of the service and, consequently, that of the merchandise on display. The second aspect concerns the still provisional management of AMIU, which ensures a partial centre opening. The auto-

matic tracking method has yet to be activated, which would lead to digitally recording all exchange operations.

The method applied in designing the set-up as a touchpoint was immediately conceived as a format, thus replicable in other contexts with circular economy practices and beyond. Even places of culture, such as libraries and museums, can be considered services characterised by both digital and analogue dimensions in which to adopt the touchpoint format, enhancing the recognizability and usability possibilities through the setup of a space that is defined in close relation to the identity of the entire service. Inherent in the very definition of touchpoint, in fact, is the purpose of guiding and configuring the user experience (Penin, 2018), shaping and fostering user behaviours, and continuing user relationships even after the service ends, quickly adapting to new functions or changing boundary requirements; in this way, the touchpoint becomes a carrier of the value of a service that makes the user experience with which it is associated memorable and meaningful, generating loyalty.

Acknowledgements

The contribution is the result of a collective reflection by the Authors. However, the introductory and ‘Concluding reflections and future scenarios’ paragraphs should be attributed to C. Olivastrì, while the paragraphs ‘Ethics and aesthetics of space and service’, ‘Setup’, and ‘Space allocation’ should be attributed to G. Tagliascio.

Notes

- 1) For more information, see the webpage: repaircafe.org/en/ [Accessed 16 March 2024].
- 2) For more information, see the webpage: ce-force.eu [Accessed 16 March 2024].
- 3) Second-hand items from the Surpluse Reuse and Repair Centre in Coronata and Emmaus Market, revisited during the Colour Makers Workshop.
- 4) For more information, see the webpage: opendotlab.it/progetti/unwanted-furniture [Accessed 16 March 2024].

References

- Banaji, S. and Buckingham, D. (2009), “The civic sell – Young people, the internet, and ethical consumption”, in *Information, Communication & Society*, vol. 12, issue 8, pp. 1197-1223. [Online] Available at: doi.org/10.1080/13691180802687621 [Accessed 16 March 2024].
- Bitner, M. J. (1992), “Servicescapes – The impact of physical surroundings on customers and employees”, in *Journal of Marketing*, vol. 56, issue 2, pp. 57-71. [Online] Available at: doi.org/10.1177/002224299205600205 [Accessed 16 March 2024].
- Blomsma, F. and Tennant, M. (2020), “Circular economy – Preserving materials or products? Introducing the Resource States framework”, in *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 156, article 104698, pp. 1-13. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104698 [Accessed 16 March 2024].
- Bonsiepe, G. (1995), *Dall'oggetto all'interfaccia – Mutazioni del design*, Feltrinelli, Milano.
- Calvo, M. and De Rosa, A. (2017), “Design for social sustainability – A reflection on the role of the physical realm in facilitating community co-design”, in *The Design Journal*, vol. 20, issue sup 1, pp. S1705-S1724. [Online] Available at: doi.org/10.1080/14606925.2017.1352694 [Accessed 16 March 2024].
- Cautela, C. and Rampino, L. (2019) “Le Tipologie d’Innovazione nel Design – Analisi Critica di una Relazione Complessa | Design Innovation Typologies – A critical Analysis of a Complex Relationship”, in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 5, pp. 127-136. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/5142019 [Accessed 16 March 2024].
- Ceschin, F. and Gaziulusoy, I. (2016), “Evolution of design for sustainability – From product design to design for system innovations and transitions”, in *Design Studies*, vol. 47, pp. 118-163. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.destud.2016.09.002 [Accessed 16 March 2024].
- Crippa, D. and Di Prete, B. (2011), *Verso un'estetica del momentaneo – L'architettura degli interni da progetto al processo*, Maggioli, Santarcangelo di Romagna.
- Crippa, D., Cason Villa, M., Di Prete, B., Ratti, L., Rebaglio, A., Zanini, M. and Zanolto, F. (2022), “Verso un progetto circolare, tra architettura e allestimento – Piattaforme digitali per il riuso | Towards a circular project, between architecture and exhibition design – Digital platforms for reuse practices”, in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 12, pp. 234-245. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/12212022 [Accessed 16 March 2024].
- D'Urzo, M. and Campagnaro, C. (2023), “Design-led repair & reuse – An approach for an equitable, bottom-up, innovation-driven circular economy”, in *Journal of Cleaner Production*, vol. 387, article 135724, pp. 1-15. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135724 [Accessed 16 March 2024].
- De Rosa, A. (2022), *S+S – Spatial Design + Service Design*, Maggioli, Santarcangelo di Romagna.
- Deni, M. (2018), “L'intégration de l'utilisateur dans le design social – Stratégies d'appropriation”, in Basso Fossali, P. and Le Guern, O. (eds), *L'appropriation – L'interprétation de l'altérité et l'inscription du soi*, Lambert-Lucas, Limoges, pp. 185-198.
- Ellen MacArthur Foundation (2013), *Towards the Circular Economy – Vol. 1 – Economic and business rationale for an accelerated transition*. [Online] Available at: ellen-macarthurfoundation.org/towards-the-circular-economy-vol-1-an-economic-and-business-rationale-for-an [Accessed 16 March 2024].
- European Parliament (2023), *Proposal for a Directive of the European Parliament and the Council on common rules promoting the repair of goods and amending Regulation (EU) 2017/2394, Directives (EU) 2019/771 and (EU) 2020/1828*, document 52023PC0155, 155 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=celex:52023PC0155 [Accessed 16 March 2024].
- Fagnoni, R., Ferrari Tumay, X. and Olivastrì, C. (2022), “Surpluse – Centri del riuso e del riparo”, in Ferrara, C., Germak, C., Imbesi, L. and Trapani, V. (eds), *Design per Commettere | Atti Assemblea annuale SID, February 25-26 2021, Palermo*, pp. 714-727. [Online] Available at: societaitalianadesign.it/wp-content/uploads/2014/06/SID_Design-per-commettere_Palermo_03082022.pdf [Accessed 16 March 2024].
- Findeli, A. (1994), “Ethics, Aesthetics, and Design”, in *Design Issues*, vol. 10, issue 2, pp. 49-68. [Online] Available at: doi.org/10.2307/1511628 [Accessed 16 March 2024].
- Felix, E. (2011), “Learning Space Service Design”, in *Journal of Learning Spaces*, vol. 1, issue 1, pp. 1-8. [Online] Available at: files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1152686.pdf [Accessed 16 March 2024].
- Germak, C. (2019), “Design resiliente – Un quadro sinottico | Resilient Design – A synoptic framework”, in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 6, pp. 26-35. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/632019 [Accessed 16 March 2024].
- Gobert, J. and Allais, R. (2019), “Repair and reuse networks? A practical application of a spatio-temporal analysis method”, in *59th ERSA Congress Cities, regions and digital transformations | Opportunities, risks and challenges, August 27-30, 2019, Lyon, France*, pp. 1-16. [Online] Available at: enpc.hal.science/hal-02382891/document [Accessed 16 March 2024].
- Interreg Europe (2022), *Reuse and Repair in a Circular and Social Economy – A Policy Brief from the Policy Learning Platform on Environment and Resource Efficiency* [Online] Available at: interregeurope.eu/sites/default/files/2022-12/Policy%20brief%20on%20reuse%20and%20repair%20in%20a%20circular%20and%20social%20economy.pdf [Accessed 21 April 2024].
- Lynn Shostack, G. (1982), “How to Design a Service”, in *European Journal of Marketing*, vol. 16, issue 1, pp. 49-63. [Online] Available at: doi.org/10.1108/EUM00000000404799 [Accessed 16 March 2024].
- Medkova, K. (2022), “REUSE Centre Ostrava – Giving new life to goods”, in *Lab University Applied Sciences*, 23/05/2022. [Online] Available at: blogit.lab.fi/labfocus/en/reuse-centre-ostrava-giving-new-life-to-goods/ [Accessed 21 April 2024].
- Moalem, R. M. and Mosgaard, M. A. (2021), “A critical review of the role of repair cafés in a sustainable circular transition”, in *Sustainability*, vol. 13, issue 22, article 12351, pp. 1-25. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su132212351 [Accessed 16 March 2024].
- Pacenti, E. (2019), “Design ed estetica nei servizi”, in Tassi, R. (ed.), *#ServiceDesigner – Il progettista alle prese con i sistemi complessi*, FrancoAngeli, Milano, pp. 36-41.
- Pei, X. and Zurlo, F. (2019), “Co-Design per il Rebranding di una Fondazione Italiana | Co-Design for Rebranding an Italian Foundation”, in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 5, pp. 161-166. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/5182019 [Accessed 16 March 2024].
- Penin, L. (2018), *Designing the invisible – An introduction to Service Design*, Bloomsbury, London.
- Olivastrì, C. and Tagliascio, G. (2023), “Sustainability Needs Service Efficacy”, in Ciravegna, E., Formia, E., Gianfrate, V., Sicklinger, A. and Zannoni, M. (eds), *Disrupting Geographies in the Design World | Proceedings of the 8th International Forum of Design as a Process – Alma Mater Studiorum, Università di Bologna*, digital special issue 1, pp. 118-125. [Online] Available at: air.iuav.it/retrieve/7b8437ec-33fd-4b05-b858-c7adc5714f26/Battistoni%20-%20diid.pdf [Accessed 16 March 2024].
- Sinni, G. (2018), *Una, nessuna, centomila – L'identità pubblica da logo a piattaforma*, Quodlibet, Macerata.
- Stahel, W. R. (1994), “The utilization-focused service economy – Resource efficiency and product-life extension”, in Allenby, B. R. and Richards, D. J. (eds), *The Greening of Industrial Ecosystems*, National Academy Press, Washington (DC), pp. 178-190. [Online] Available at: nap.nationalacademies.org/read/2129/chapter/17 [Accessed 16 March 2024].
- Sung, K. and Dao, T. (2021), “Repair and Upcycling – How Do We Know Which Repair Is Considered as Upcycling?”, in Sung, K., Singh, J. and Bridgens, B. (eds), *State-of-the-Art Upcycling Research and Practice – Lecture Notes in Production Engineering*, Springer, Cham, pp. 105-109. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-030-72640-9_20 [Accessed 16 March 2024].
- Tschumi, B. (2005), *Architettura e Disgiunzione*, Edizioni Pendragon, Bologna.
- Tyl, B. and Allais, R. (2019), “Living labs to develop reuse and repair workshops in territories”, in Nissen, N. F. and Jeager-Erben, M. (eds), *3rd PLATE 2019 Conference – 18-20 September 2019 – Berlin, Germany*, pp. 1-5. [Online] Available at: hal.science/hal-03037239 [Accessed 18 April 2024].
- Van Geetsom, N. (2018), “Space and service design into educational practice”, in Meroni, A., Ospina Medina A. M. and Villari, B. (eds), *Service Design Proof of Concept – Proceedings of the ServDes.2018 Conference – June 18-20, 2018, Milan, Italy*, pp. 863-875. [Online] Available at: ep.liu.se/ecp/150/ecp18150.pdf [Accessed 16 March 2024].
- Van Geetsom, N. and Wilkinson, A. (2021), “Design culture (of) resilience – Space & service design taxonomy, overcoming undefined space & service design contexts”, in Di Lucchio, L., Imbesi, L., Giambattista A. and Malakuczi, V. (eds), *Design Culture(s) – Cumulus Conference Proceedings Roma, June 8-11, 2021*, vol. 2, pp. 3264-3281. [Online] Available at: [cumulusroma2020.org/proceedings-files/DC\(s\)_PROCEEDINGS_full_vol2.pdf](https://cumulusroma2020.org/proceedings-files/DC(s)_PROCEEDINGS_full_vol2.pdf) [Accessed 16 March 2024].
- Wegener, C. (2016), “Upcycling”, in Glăveanu, V. P., Tanggaard, L. and Wegener, C. (eds), *Creativity – A New Vocabulary*, Palgrave Macmillan, London, pp. 181-188. [Online] Available at: doi.org/10.1057/9781137511805_22 [Accessed 16 March 2024].
- Zeithaml, V. A., Parasuraman, A. and Berry, L. L. (1985), “Problems and strategies in services marketing”, in *Journal of Marketing*, vol. 49, issue 2, pp. 33-46. [Online] Available at: doi.org/10.1177/002224298504900203 [Accessed 16 March 2024].

ARTICLE INFO

Received	18 March 2024
Revised	23 April 2024
Accepted	01 May 2024
Published	30 June 2024

TRANSITIONAL INDUSTRIAL DESIGNER

La responsabilità di progettisti e
imprese per una transizione sostenibile

TRANSITIONAL INDUSTRIAL DESIGNER

The responsibility of designers and
companies for a sustainable transition

Michele Zannoni, Laura Succini, Ludovica Rosato, Veronica Pasini

ABSTRACT

Nella definizione attuale di sostenibilità, le culture del progetto tengono in considerazione la progressiva integrazione di aspetti ambientali, sociali, culturali ed economici per promuovere una transizione che implichi cambiamenti nella produzione, consumo e stile di vita. Attraverso l'analisi di dodici approcci progettuali per la transizione sostenibile, responsabile e circolare e, in particolare, delle discipline dell'Advanced Design e del Transition Design, l'articolo introduce il Transitional Industrial Designer, nuova figura di progettista orientato al futuro, con una consapevolezza critica sulle implicazioni sociali e ambientali della progettazione industriale e capacità a contribuire a modelli più sostenibili e adattabili in un contesto in continua evoluzione. L'articolo ne introduce metodi e strumenti sperimentati all'interno di un progetto finanziato dall'Unione Europea.

In the current definition of sustainability, project cultures promote a transition involving changes in production, consumption and lifestyle, taking into account the progressive integration of environmental, social, cultural and economic aspects. By analysing twelve design approaches for sustainable, responsible, and circular transitions and, in particular, the disciplines of Advanced Design and Transition Design, this paper introduces the new figure of the Transitional Industrial Designer, a future-oriented designer with a critical awareness of the social and environmental implications of industrial design, able to contribute to more sustainable and adaptable models in a changing context. The article introduces the methods and tools tested in an EU-funded project.

KEYWORDS

transitional industrial designer, design avanzato, design di transizione, design responsabile, catena del valore

transitional industrial designer, advanced design, transition design, responsible design, value chain

Michele Zannoni is an Associate Professor of Industrial Design at the University of Bologna (Italy). His published articles and books explore the intersection of interaction processes and visual and product design. At the same time, his academic research covers digital and physical products and the evolution of the user interface. E-mail: michele.zannoni@unibo.it

Laura Succini, PhD, is a Junior Assistant Professor at the Advanced Design Unit (ADU), Department of Architecture of the University of Bologna (Italy). Her research focuses on design for responsible innovation and design and collaborative approaches in territories, with attention to the relationship with intangible cultural heritage. E-mail: laura.succini@unibo.it

Ludovica Rosato, PhD, is a Research Fellow at the Advanced Design Unit (ADU), Department of Architecture of the University of Bologna (Italy). Her research focuses on the designer's role in the transition towards new uses of polymers in the textile industry. E-mail: ludovica.rosato2@unibo.it

Veronica Pasini, PhD Candidate at the Department of Architecture, University of Bologna (Italy), carries out research on the new crucial role of the Transitional Industrial Designer, applied to industries and SMEs of Made in Italy. E-mail: veronica.pasini6@unibo.it



Nell'attuale società e nelle sfide contemporanee il concetto di sostenibilità si definisce secondo un'ampia declinazione, che tiene in considerazione non solo gli aspetti ambientali, ma si focalizza anche su quelli sociali, culturali ed economici (UN, 2015a, 2015b). La stessa disciplina del Design, costituita da una moltitudine di pratiche, approcci, metodologie e modelli sia teorici che applicativi, con dimensioni speculative, sperimentali e inseribili in contesti reali (Maffei, 2021), assume non solo un ruolo guida nei processi di innovazione in campo produttivo, istituzionale e organizzativo (Celaschi and Deserti, 2007), ma detiene anche un ruolo sociale, politico, di gestione dei conflitti all'interno degli stessi ambiti, progettando per i bisogni delle persone, per il loro benessere e per quello dell'ambiente.¹

Inoltre, oggi, per affrontare i 'wicked problems' e le relative opportunità e criticità ad essi correlati è necessario che il Design mantenga più che mai il ruolo di connettore all'interno degli attuali contesti in continua trasformazione, visione questa consolidata dal Report Design for Growth and Prosperity (Koskinen and Thomson, 2012) che nel 2012 definisce il Design come un importante elemento nelle politiche di innovazione per la prosperità del Pianeta e un fattore significativo nel contribuire alla qualità della vita e alla crescita sostenibile, dal benessere alla competitività.

Gli esempi più significativi dell'ultimo decennio che stanno cercando di perseguire questo obiettivo sono basati sugli approcci del Transition Design (Irwin, 2015), del Systemic Design (Barbero, 2018), del Design for Social Innovation (Amatullo et alii, 2022) o dell'Advanced Design (Celi, 2015) i quali, oltre che perseguire gli scopi descritti in precedenza, lavorano per coinvolgere quanti più attori possibili nei processi progettuali e per comprendere le reali necessità della società e dell'ambiente al fine di raggiungere in modo collaborativo i risultati attesi.

È quindi necessario rivedere i processi e le dinamiche di alcuni ambiti che sottendono al raggiungimento di una prosperità economica-sociale responsabile, giusta e sostenibile nel prossimo futuro. Di particolare interesse per il Gruppo di Ricerca Advanced Design Unit (ADU) dell'Università di Bologna sono i modelli produttivi esistenti, attualmente limitati al miglioramento del processo produttivo nella sua accezione tecnico-ingegneristica e al sistema progettuale collaborativo all'interno dei singoli settori ma non tra ambiti diversi. L'obiettivo è affrontare l'attuale transizione nelle realtà imprenditoriali in modo più sinergico e nelle sue declinazioni di trasformazione ambientale, sociale e digitale (Barbero and Ferulli, 2023; Lauria and Azzalin, 2021).

Sebbene negli ultimi decenni, in risposta alle crisi energetiche, ambientali ed economiche che si sono susseguite, siano stati proposti modelli per la transizione della produzione industriale verso un processo sostenibile e circolare secondo strategie e politiche focalizzate sulla consapevolezza dal degrado del nostro ambiente e della carenza inevitabile di risorse fossili, oggi essi richiedono ulteriori evoluzioni.

In tal senso il Green Deal (European Commission, 2019) e l'Agenda 2030 (UN, 2015b) hanno promosso la transizione delineando interventi e strategie per trasformare le politiche sul clima, sull'energia, sul benessere e sulla circolarità, consi-

derando il rapporto locale-globale, individuo-comunità e processi collaborativi-digitali: una tale sfida è possibile affrontarla attraverso un approccio pluriverso, guardando i contesti in cui si opera come una molteplicità di mondi mutuamente intrecciati ma distinti (Escobar, 2015, 2018). Se analizzato in relazione alla cultura del progetto, questo fenomeno mostra come anche la disciplina del Design, grazie alle sue radici incentrate sulla ricerca dell'innovazione e della forma (modello Bauhaus), sia intervenuta nella formazione di un nuovo modello contemporaneo di 'pensare al fare' basato su sostenibilità e circolarità delle materie prime.

Ci sono riferimenti storici e culturali che dimostrano come, dagli anni '60 ad oggi, il settore disciplinare del Design abbia affrontato il tema della sostenibilità attraverso un pensiero critico, sviscerandolo in tutte le sue declinazioni – materiali e immateriali – e considerandolo come obiettivo principale del progettista in risposta alle varie crisi ambientali, economiche e sociali attivando gruppi e movimenti critici (Formia, 2017), mostre, manifesti e riviste (Celaschi and Celi, 2015) e proponendo visioni disruptive proiettate a nuove forme di responsabilità e/o leggendo la realtà come un insieme di relazioni interdipendenti (Fry, 2009; Floridi, 2020).

Il processo di Conservazionismo di John Muir (1916) sottolinea come gli approcci di design che hanno perseguito i concetti di ecologia, sostenibilità, ecc. sono stati influenzati dai movimenti intellettuali precedenti nati nella cultura della conservazione delle risorse naturali, degli spazi verdi e della fauna selvatica, gli stessi che hanno portato a sviluppare il concetto di sostenibilità. Un fenomeno questo che trova nel protezionismo ambientale degli anni '60 e '70 del XX secolo i primi movimenti di massa sui temi del rispetto dell'ambiente e della protezione dall'inquinamento causati dall'industrializzazione dell'intero Pianeta (Carson, 1962). È la crisi energetica degli anni Settanta, che ha iniziato a far emergere la vulnerabilità delle società moderne e la dipendenza dalle risorse fossili favorendo la crescita di approcci responsabili e aprendo ai movimenti incentrati sullo sviluppo sostenibile degli anni Ottanta e Novanta.

In questi processi di sviluppo già negli anni '70 figure come Papanek (1971) o Maldonado (1970) hanno posto l'attenzione su come l'operato di un progettista possa influenzare il contesto sociale, facendo emergere la necessità di affrontare in modo nuovo la relazione tra progetto e pensiero ecologico e tra uomo e ambiente per agire rispetto alla crisi ambientale di quel periodo. Negli stessi anni a livello internazionale si sono avviati i primi incontri per affrontare le emergenze legate alle risorse, alle relazioni tra territori, all'economia e all'ambiente, facendo emergere il tema dell'Environment by Design ed evidenziando la necessità di supportare le comunità a riappropriarsi dell'ambiente ricreando relazioni più eque (Formia, 2017).

Allo stesso modo, nel contesto italiano, si registrano diverse azioni per rivedere e discutere i modelli di crescita convenzionali di cui il Programma Global Tools 1973-1975 è un esempio (Borgonovo and Franceschini, 2018; Formia, 2017). È poi il Rapporto Our Common Future (WCED, 1987) a dare il via a un processo di ricerca di equilibrio tra sviluppo economico, conservazione ambientale ed equità sociale che ha portato all'ambientalismo globale del XX secolo.

Dal 1987 in poi ci sono stati molti tavoli di la-

voro che hanno stimolato a rivedere le politiche internazionali legate al consumo di risorse (ad esempio l'Earth Summit del 1992) e a capire cosa significhi l'uso di queste risorse a livello di impatto sulle persone e sul territorio. Nel decennio successivo al Rapporto Brundtland si è arrivati al Protocollo di Kyoto (1997) che ha coinvolto la quasi totalità dei Paesi del mondo, siglando un accordo di riduzione dell'emissioni e aprendo la strada a programmi come Agenda 21 (UN, 1992); l'ultimo passaggio di questo lungo processo è stato l'Accordo di Parigi sul Clima del 2015 (UN, 2015a) per il raggiungimento della neutralità climatica. I primi venti anni del XXI secolo sono stati caratterizzati dalla ricerca di un modello contemporaneo di economia circolare e giustizia ambientale che ha dato luogo all'Agenda 2030 (UN, 2015b) che ha sancito gli obiettivi comuni per uno sviluppo sostenibile.

Questo breve excursus rappresenta un quadro sintetico e non esaustivo sulla evoluzione del pensiero contemporaneo sui temi della sostenibilità e circolarità che consolida le aspettative a cui oggi devono tendere i processi di transizione, a patto che ci si allontani da una visione antropocentrica e si attivi un processo sostenibile che tenga in considerazione la resilienza, gli approcci circolari e il benessere e la cura dell'eco-sistema (Lauria and Azzalin, 2021).

In questo contesto complesso l'articolo mira a delineare un nuovo profilo di designer con competenze avanzate in studi di anticipazione e transizione, in grado di guidare le imprese verso una transizione responsabile, collaborativa e inclusiva. La nuova figura dovrà possedere una spiccata consapevolezza critica delle implicazioni sociali e ambientali della progettazione industriale, nonché la capacità di contribuire a modelli più sostenibili e adattabili in un ambiente in costante mutamento.

Si introduce quindi la figura del Transitional Industrial Designer, presentando processi progettuali e tipi di impatti da perseguire attraverso un'analisi critica di approcci e metodologie consolidati o emergenti che perseguono con differenti visioni la sostenibilità, mettendo in evidenza l'intersezione tra circolarità, sostenibilità, responsabilità e transizione; infine si discute l'applicazione di queste metodologie nel contesto di un progetto europeo in corso di sperimentazione.

Analisi sulla sostenibilità dei fenomeni, degli approcci e delle metodologie di progetto

Alla luce delle diverse metodologie che si sono susseguite nel campo del Design è importante provare a formulare una matrice di analisi complessiva che analizzi le specificità che caratterizzano i vari approcci progettuali facendo emergere le criticità, le qualità e i limiti. Pertanto sono stati individuati dodici approcci principali che secondo un'analisi qualitativa stanno proponendo modelli consolidati o emergenti per raggiungere alcuni aspetti della transizione secondo la formulazione esplicitata in precedenza.

Gli elementi di classificazione sono stati inseriti in una matrice (Tab. 1) e definiscono le categorie di analisi degli approcci progettuali in relazione agli impatti che il Design ha sui vari livelli del capitale territoriale che costituisce il contesto d'intervento (Villari, 2018) e al processo progettuale – inteso come azioni, strumenti, metodi – che viene utilizzato per raggiungere gli obiettivi preposti nell'azione

	IMPACTS											DESIGN PROCESS						
	RELATIONS				SYSTEM			RESOURCE UTILIZATION				participative	collaborative (co-design)	iterative	disruptive	scenaristic	speculative	anticipatory
	persons/users	gender equity	society	environment	productive	cultural	infrastructures	natural resources	pollution	energy consumption	water consumption							
Design of Public Utility	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓					
Radical Design	✓		✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓				✓		✓	✓	
Design Thinking	✓		✓		✓	✓	✓					✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Human-centred Design	✓		✓		✓							✓	✓	✓		✓		
Speculative Design			✓	✓		✓		✓							✓	✓	✓	
Advanced Design	✓			✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Responsible Design	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓				✓	
Transition Design	✓		✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	
Design for Social Innovation	✓		✓	✓		✓		✓				✓	✓					
Systemic Design	✓		✓	✓	✓	✓		✓				✓	✓	✓		✓		
Design for Sustainable Behaviour	✓		✓	✓	✓	✓						✓			✓			
Design for Sustainability Transitions	✓		✓	✓	✓		✓		✓	✓			✓		✓			

Tab. 1 | Matrix of critical analysis on the sustainability of methodologies/approaches of project cultures (credit: Advanced Design Unit, 2024).

progettuale. A loro volta gli impatti sono stati suddivisi in tre macro-dimensioni: in relazioni al rapporto persone, società e ambiente; in sistemi materiali e immateriali di antropizzazione; sull'uso delle risorse del pianeta.

La dimensione 'relazioni' analizza l'impatto che uno specifico approccio ha sulle persone, la società, l'equità di genere e l'ambiente; esso si declina in etica, inclusione, cura, open access, trasparenza e impegno pubblico (Stilgoe, Owen and Macnaghten, 2013) in riferimento alla micro-scala individuale della persona fino ad arrivare alla macro-scala collettiva della società e dell'ambiente. Questa dimensione trova una sua rilevanza all'interno delle politiche europee che perseguono il concetto di Ricerca ed Innovazione Responsabile (von Schomberg, 2011) in cui il tema delle relazioni, dell'accettabilità e della desiderabilità è importante per arrivare a processi di innovazione integrati.

La dimensione 'sistema' è costituita dall'impatto dei sistemi di trasformazione che agiscono sul contesto in cui operiamo: il sistema produttivo,

culturale e infrastrutturale fisico e immateriale che condiziona i trasporti di merci, delle persone, dei dati e della potenza di calcolo (Mitchell, 1995). Tale sistema può essere definito come il complesso degli elementi (materiali e immateriali) a disposizione del territorio, i quali possono costituire punti di forza o veri e propri vincoli a seconda degli aspetti presi in considerazione (Farrell, Thirion and Soto, 1999); gli elementi possono essere letti come valore, diventando parti chiave del pensiero progettuale (Parente and Sedini, 2018).

Infine la dimensione 'risorse' è legata alla tangibilità degli elementi che influiscono in maniera negativa sul nostro ambiente: il consumo delle risorse naturali, l'inquinamento atmosferico, lo spreco e il consumo eccessivo dell'acqua e il problema energetico (EEA, 2023).

In relazione alla parte della matrice che classifica il processo progettuale sono stati selezionati gli aspetti fondamentali dai vari approcci utilizzati per raggiungere la transizione nelle sue varie dimensioni. Le voci proposte nella matrice sono: par-

tecipativo, collaborativo, iterativo, disruptive, scenaristico speculativo e anticipatorio: è importante sottolineare come i processi partecipativi (Simonsen and Robertson, 2012) e quelli collaborativi (Sanders and Stappers, 2008; Steen, 2013) si connettono al concetto di co-creazione che viene visto come elemento 'cruciale per la sostenibilità a lungo termine dei sistemi territoriali' (Barbero and Pereno, 2020). Anche l'iterazione, tipica di un processo progettuale completo è ritenuto elemento di classificazione fondamentale per i processi di sostenibilità, perché confrontandosi costantemente con i reali bisogni rende maggiormente efficiente il processo e l'ottenimento dei risultati.

In antitesi in parte al processo iterativo è l'approccio disruptive che introduce il concetto di 'distruzione creativa' come forma di trasformazione ed evoluzione e che viene applicato da diverse metodologie (Brown and Wyatt, 2010), anche come forma di protesta verso il design tradizionale. Le ultime tre voci della matrice sono prettamente legate ai future studies in cui i processi di scenari-

stica, speculativi e anticipatori nelle culture del progetto, caratterizzano metodologie progettuali che puntano a una visione di lungo periodo.

Nello specifico scenaristico (Colombi and Zindato, 2019) e anticipatorio (Celi and Morrison, 2019) sono visti come elementi che possono mettere in relazione passato, presente e futuro, dove il futuro è un'area in cui i vari attori coinvolti possono immaginare una realtà possibile, probabile o potenziale che porta a sviluppare un'innovazione continua (Celaschi, Celi and Formia, 2014). Anche nel processo progettuale speculativo si parla di rapporto tra design e future studies (Dunne and Raby, 2013), utilizzando tra i vari strumenti artefatti prototipali diegetici che possono esplorare scenari desiderabili e materializzare un futuro ancora da investigare (Celi, Rognoli and Ayala-Garcia, 2023).

Tutte le categorie della matrice descritte permettono di analizzare dalla scala micro alla macro, dal punto di vista materiale e immateriale e come gli approcci e le metodologie selezionati hanno quale focus primario questi aspetti. La condizione è soddisfatta solo quando essa è enunciata nei presupposti fondanti di un movimento o di una metodologia e non se effetto indiretto dalla sua applicazione.

I movimenti o le metodologie analizzate sono stati i Design for Public Utilities, Radical Design, Design Thinking, Human-centred Design, Speculative Design, Advanced Design, Responsible Design, Transition Design, Design for Social Innovation, Systemic Design e Design for Sustainable Behavior, Design for Sustainability Transition. Come emerge dalla matrice di analisi sono diverse le discipline che hanno approfondito le relazioni fra design e futuro (Norman, 2008; Dunne and Raby, 2013) e fra de-

sign e anticipazione (Poli, 2019; Miller, Rossel and Jørgensen, 2012); inoltre si può notare come il Systemic Design, l'Advanced Design e il Design for Sustainability Transitions siano discipline che uniscono gli studi sulla sostenibilità a quelli sulla scenaristica (Pereno and Barbero, 2020); molte tengono conto delle 'relazioni' in fase di progettazione e introducono processi progettuali partecipativi e collaborativi per analizzare gli ambiti problematici e/per o raggiungere in modo sistemico i risultati attesi.

Nel quadro complessivo si distinguono due metodologie che più di altre integrano nella pratica impatti e processi per la transizione: l'Advanced Design e il Transition Design approfondiscono infatti il legame tra transizione e sostenibilità nelle sue varie declinazioni attraverso i differenti strumenti / processi descritti nella matrice. Questi due approcci vengono di seguito maggiormente indagati per individuarne le peculiarità e le criticità con lo scopo di integrarli e proporre una nuova figura di designer. Rimane comunque di particolare interesse anche il Responsible Design (Boehnert, Sinclair and Dewberry, 2022) perché rispetto ad altri approcci guarda alla responsabilità, altro elemento chiave della transizione, con un interesse non solo tecnico ma anche sociopolitico.

Advanced Design e Transition Design: caratteristiche, relazioni e criticità | L'Advanced Design (Fig. 1) fornisce agli attori del progetto la capacità di pensare in modo anticipatorio e reagire ai rapidi cambiamenti del contesto per sviluppare innovazione continua (Celi, 2015), sfruttando la capacità del designer di mediare fra i saperi (Celaschi, 2008) e di agire in modo sistemico nel disegno di pro-

dotti e processi. Applicando nel progetto gli studi su futurologia, tendenze e analisi dei bisogni latenti l'Advanced Designer immagina un futuro lontano per progettare scenari preferibili alternativi nel futuro prossimo, tenendo conto dell'intero sistema degli attori in gioco (Celaschi, 2020).

Il Transition Design proviene dalle pratiche del Service Design e del Design for Social Innovation (Irwin, 2015) e si propone di risolvere problemi complessi, che richiederebbero decenni per essere risolti, attraverso una visione del progetto olistico e sistemico (Irwin, 2018). Le transizioni rimangono aperte e speculative per poter evolversi sulla base delle conoscenze acquisite dai progetti del presente; i progettisti sono considerati agenti di cambiamento all'interno di sistemi sociali e naturali complessi (Irwin, 2015).

Il processo di anticipazione proprio di entrambe le discipline è un concetto chiave nella progettazione sostenibile e circolare: saper prevedere i futuri significa anticipare la provvisorietà dei bisogni (Rau and Oberhuber, 2019). Il Transition Design prevede che i progetti già elaborati nel presente siano ripensati al fine di convergere in soluzioni future efficaci per l'intero sistema di attori che lavora attorno a un problema sociale di grande scala (Fig. 2). L'Advanced Design vede nel designer una figura in grado di gestire competenze e professioni ibride per contesti multi-attore. Advanced Design e Transition Design lavorano a livello sociale, strategico e concettuale (Irwin, 2015) e, al contempo, possiedono un approccio sistemico che permette di approfondire il ruolo del progetto da una scala micro (estetica, materica, chimica e strumentale) a una macro (olistica, di processo, relazionale e simbiotica).

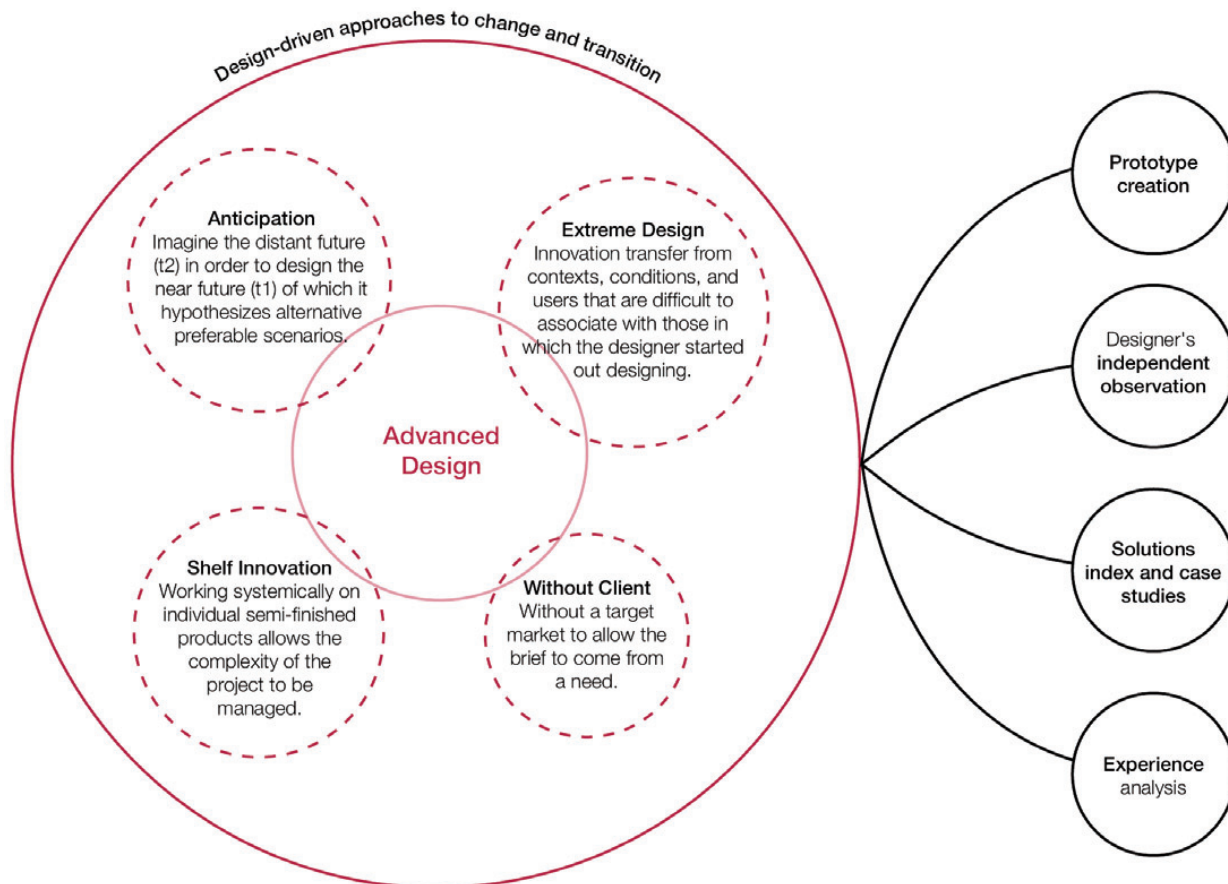


Fig. 1 | Advanced Design Framework (credit: Advanced Design Unit, 2024).

Entrambi diventano quindi approcci che alla sostenibilità integrano una dimensione chiave della transizione che è la circolarità, cambiando continuamente prospettiva fra bisogni dell'utente e implicazioni sistemiche del processo produttivo. Advanced Design e Transition Design possono facilitare questo processo, applicarlo a una scala temporale e permettere una transizione graduale con una corretta preparazione e mentalità e adeguato tempo di assorbimento del cambiamento (Irwin, 2015).

Un riesame delle responsabilità del Transitional Industrial Designer: verso il Design Endless Responsibility

Se dall'analisi precedente emerge come la combinazione di questi due approcci – Advanced Design e Transition Design – possa aiutare la comunità a comprendere la transizione e farla diventare parte dei propri processi decisionali, produttivi e di acquisto, viene anche messo in evidenza come la responsabilità non sia un fattore fondante di queste metodologie, ma un effetto indiretto in cui non è chiaro quali siano gli elementi caratterizzanti che deve perseguire e fino a quale livello.

I termini 'responsabile' e 'responsabilità' assumono varie connotazioni all'interno delle discipline e rispetto ai contesti a cui si riferiscono (Gianni, Pearson and Reber, 2019): 1) giuridica, legata al concetto di dovere; 2) empirica, in relazione al contesto sociale e al ruolo che detiene nelle decisioni, 3) etica, riferibile a regole e principi; 4) epistemica, che osserva i soggetti coinvolti per individuarne le qualità positive e negative; 5) di cura, verso il benessere del singolo, della comunità e del Pianeta (Stahl et alii, 2021).

A queste dimensioni si affiancano quella di responsabilità individuale (Fisher and Rip, 2013) e di responsabilità collettiva (von Schomberg, 2011) nella quale la condivisione di conoscenze, competenze e opinioni portano a un sapere collettivo, concetti sempre più vicini ai cambiamenti e alle sfide a cui oggi devono rispondere i progettisti, le Istituzioni, le imprese e la società, poiché i processi progettuali sono caratterizzati da interdisciplinarietà, dal coinvolgimento dell'utente nelle fasi di ideazione e/o di produzione e dalla necessità di considerare l'ambiente come una risorsa infinita.

L'integrazione di questi concetti con quelli discussi nei paragrafi precedenti ci conduce verso il Design Endless Responsibility (DER), secondo il quale il progettista è chiamato non solo a connettere e mediare ambiti e attori coinvolti nel processo progettuale – caratteristici di contesti multi agente e multi disciplinari – ma anche a tener conto dell'intera catena del valore, dall'ideazione al fine vita, considerando i futuri impatti relativi a ogni step progettuale, fino ad arrivare alla trasmissione di un valore sia in ambito progettuale che dell'utente finale (Fig. 3).

Il recupero e la valorizzazione di questo principio nella dimensione del progetto devono necessariamente portare a far sì che processi progettuali, conoscenze e pratiche considerino i fattori della matrice di analisi esposta, senza i quali non è possibile perseguire un DER per definire soluzioni responsabili. Il DER può diventare un sistema di controllo e uno strumento per verificare in ogni momento della progettazione se si stanno valutando tutti gli impatti e in che modo si sta provando a risolverli.

Transitional Industrial Designer: il profilo di un progettista che si adatta alla complessità

Se il DER diventa un sistema di verifica del progetto possiamo immaginare che potrà essere uno strumento chiave per il futuro designer il quale, per prendere in considerazione tutti i fattori della 'matrice delle criticità', ha necessità di trovare una nuova combinazione di approcci per raggiungere in modo completo gli obiettivi della transizione. A tal proposito l'ADU identifica, nella combinazione tra Advanced Design e Transition Design (Tab. 2), la 'formula' per attivare una nuova figura di progettista che viene definita Transitional Industrial Designer.

Il Transitional Industrial Designer assume così la capacità di sfruttare le pratiche di anticipazione (Celaschi and Celi, 2015) nella trasformazione del contesto sociale, economico, ambientale e produttivo con un approccio olistico che considera tutti gli elementi materiali e immateriali come parte di un ecosistema integrato. La proposta non deriva solo dal costruito teorico descritto ma anche dall'analisi di altre figure di Designer per la transizione proposte in questi ultimi anni da diversi autori. Infatti a partire dal lavoro di Irwin (2015), che definisce la figura del Transition Designer come un progettista capace di osservare e risolvere i 'wicked problems' attraverso singole azioni di Social e Service Design, si sono sviluppati diversi ulteriori studi che hanno cercato di trasferire queste competenze in settori o aree di conoscenza e applicazioni diversi.

Il Transition Product Designer, ad esempio, attribuisce al prodotto il ruolo di attivatore di transizioni, agendo su un micro-sistema locale nel quale le conoscenze territoriali permettono la creazione di artefatti rappresentativi e sostenibili, per stimolare lo sviluppo di strategie di transizione adeguate (Bisson et alii, 2022). Il Transitional Industrial Packaging Designer (Giardina, 2023) applica queste capacità al packaging, migliorando le competenze digitali e tecnologiche, di comprensione e diffusione della conoscenza e della consapevolezza per raggiungere i cittadini. E ancora, l'approfondimento sul ruolo delle materie ha portato alla definizione del Transition Matter Designer (Rosato, 2023), un progettista che individua un sistema-prodotto critico per l'uso dei materiali e guida gli attori della filiera in un processo di multi-metamorfosi per disegnarne la transizione sostenibile e circolare in modo graduale, agendo a diverse scale del progetto.

Le ricerche e le sperimentazioni citate svolte in questi anni (Bisson et alii, 2022; Giardina, 2023; Rosato, 2023) e il contesto multidisciplinare e multi-attore oggetto della ricerca consolidano la proposta degli autori verso l'inserimento nei contesti industriali e complessi del Transitional Industrial Designer (TID), figura che sostiene la capacità di progettare la transizione e gestirne i futuri preferibili coordinando, in quanto mediatore, tutti gli attori coinvolti nei processi materiali e immateriali (Fig. 4).

La riflessione teorica sulla figura del TID è in corso di sperimentazione in un contesto multidisciplinare, multiattoriale e complesso come quello del progetto Spoke 1 'Digital Advanced Design – Technologies, Processes, and Tools', linea tematica del macro-progetto Made in Italy Circolare e Sostenibile (MICS), un Programma di ricerca finanziato dal MUR (Ministero dell'Università e della Ricerca) nell'ambito del Piano NextGenerationEU e uno dei progetti relativi alla Missione 4 'Istruzio-

ne e Ricerca' del PNRR (Fig. 5). Le caratteristiche e le linee di intervento di questo Spoke permettono di far entrare il designer in contatto con elementi tangibili e il connubio e la diversità degli attori coinvolti porterà a sperimentare il modello di TID in contesti molto eterogenei (Figg. 6, 7).

Conclusioni | L'articolo presenta il Transitional Industrial Designer come figura chiave nel guidare le imprese verso una transizione sostenibile, responsabile e circolare. Questa figura di progettista dovrà essere in grado di lavorare a stretto contatto con i settori industriali e le sue comunità, promuovendo modelli più sostenibili e adattabili in ambienti in continua evoluzione. Le analisi condotte hanno evidenziato l'intersezione tra circolarità, sostenibilità, responsabilità e transizione, mostrando come il design possa essere un potente strumento di cambiamento e in grado di operare progettualmente in contesti complessi.

La matrice proposta in questo contributo si è dimostrata un primo strumento di verifica per comprendere come la figura del Transition Industrial Designer dovrà sviluppare nuove attenzioni progettuali, concentrandosi maggiormente sugli impatti del suo progetto in tutte le sue fasi piuttosto che solo sull'esito formale, in quanto la sua responsabilità non si ferma con lo sviluppo o la produzione di un prodotto-servizio ma deve estendersi al suo fine vita, individuando processi adeguati che consentano ad altri operatori di intervenire lungo tutta la catena del valore. Inoltre la matrice sostiene un approccio del tipo Design Endless Responsibility, che implica una continuità di relazione multidisciplinare nel progetto e una continuità temporale in un post progetto che necessita di nuovi strumenti per la valutazione degli impatti.

Per rendere maggiormente incisive le considerazioni esposte in questo contributo, il cui carattere speculativo è conseguenza dello stato attuale della ricerca, si prevede di ampliare l'analisi di processi e sperimentazioni multidisciplinari all'interno del progetto PNRR MICS, coerentemente con gli obiettivi della ricerca dello Spoke 1 (guidato dall'Università di Bologna) che mirano a sviluppare un framework teorico per creare nuovi strumenti a supporto del progettista industriale.

Il progetto, che si concluderà nel dicembre 2025, al momento sta portando avanti alcune sperimentazioni tramite le quali ci si aspetta di poter implementare modello e strumenti da testare nei prossimi anni di ricerca al fine di comprendere come la figura del Transitional Industrial Designer possa realmente essere operativa non solo nel controllo della fase progettuale dei prodotti industriali, ma anche in altri ambiti e settori come quello dell'architettura o della salute.

In today's society and contemporary challenges, sustainability is broadly defined, considering not only environmental aspects but also social, cultural and economic ones (UN, 2015a, 2015b). The discipline of Design itself, consisting of a multitude of practices, approaches, methodologies, and models, both theoretical and applied, with speculative, experimental, and embeddable dimensions in real-world contexts (Maffei, 2021), assumes not only a guiding role in innovation processes in the productive, institutional, and organisational fields (Ce-

laschi and Deserti, 2007), but also holds a social, political, and conflict management role within the same fields, designing for people’s needs, for their well-being, and for that of the environment.¹

Moreover, to address current ‘wicked problems’ and the related opportunities and critical issues, it is necessary for Design to maintain, now more than ever before, its role as a connector within today’s ever-changing contexts. This view is consolidated by the 2012 Design for Growth and Prosperity Report (Koskinen and Thomson, 2012), which defines Design as an essential element in innovation policies for the prosperity of the Planet and a significant factor in contributing to quality of life and sustainable growth, from well-being to competitiveness.

The most significant examples of the last decade are based on approaches featured in Transition Design (Irwin, 2015), Systemic Design (Barbero, 2018), Design for Social Innovation (Amatullo et alii, 2022) or Advanced Design (Celi, 2015) that, in addition to pursuing the purposes described above, aim to in-

volve as many stakeholders as possible in design processes and to understand concrete society and environmental needs, to achieve the expected results through collaboration.

Therefore, it is necessary to review the processes and dynamics of specific areas that underlie the achievement of responsible, just and sustainable economic-social prosperity in the near future. Current production models, now limited to the improvement of the production process only (in its technical-engineering sense) and to the collaborative design system within individual sectors but not between different spheres, are of particular interest to the Advanced Design Unit (ADU) Research Group of the University of Bologna. The aim is to address the current transition synergistically in its declinations of environmental, social and digital transformation (Barbero and Ferulli, 2023; Lauria and Azalin, 2021).

While models for the transition of industrial production to a sustainable and circular process have been proposed in recent decades in response to

successive energy, environmental and economic crises according to strategies and policies focused on awareness of the degradation of our environment and the inevitable shortage of fossil resources, they now require further evolution.

The Green Deal (European Commission, 2019) and the 2030 Agenda (UN, 2015b) promoted the transition by outlining interventions and strategies to transform policies on climate, energy, well-being and circularity, considering the local-global relationship, individual-community and collaborative-digital processes: such a challenge can be faced through a multiverse approach, analysing the contexts in which it operates as a multiplicity of mutually intertwined but distinct worlds (Escobar, 2015, 2018). When analysed in relation to design culture, this phenomenon shows how the discipline of Design, thanks to its roots focused on the search for innovation and form (Bauhaus model), has also intervened in the formation of a new contemporary ‘think to make’ model based on sustainability and circularity of raw materials.

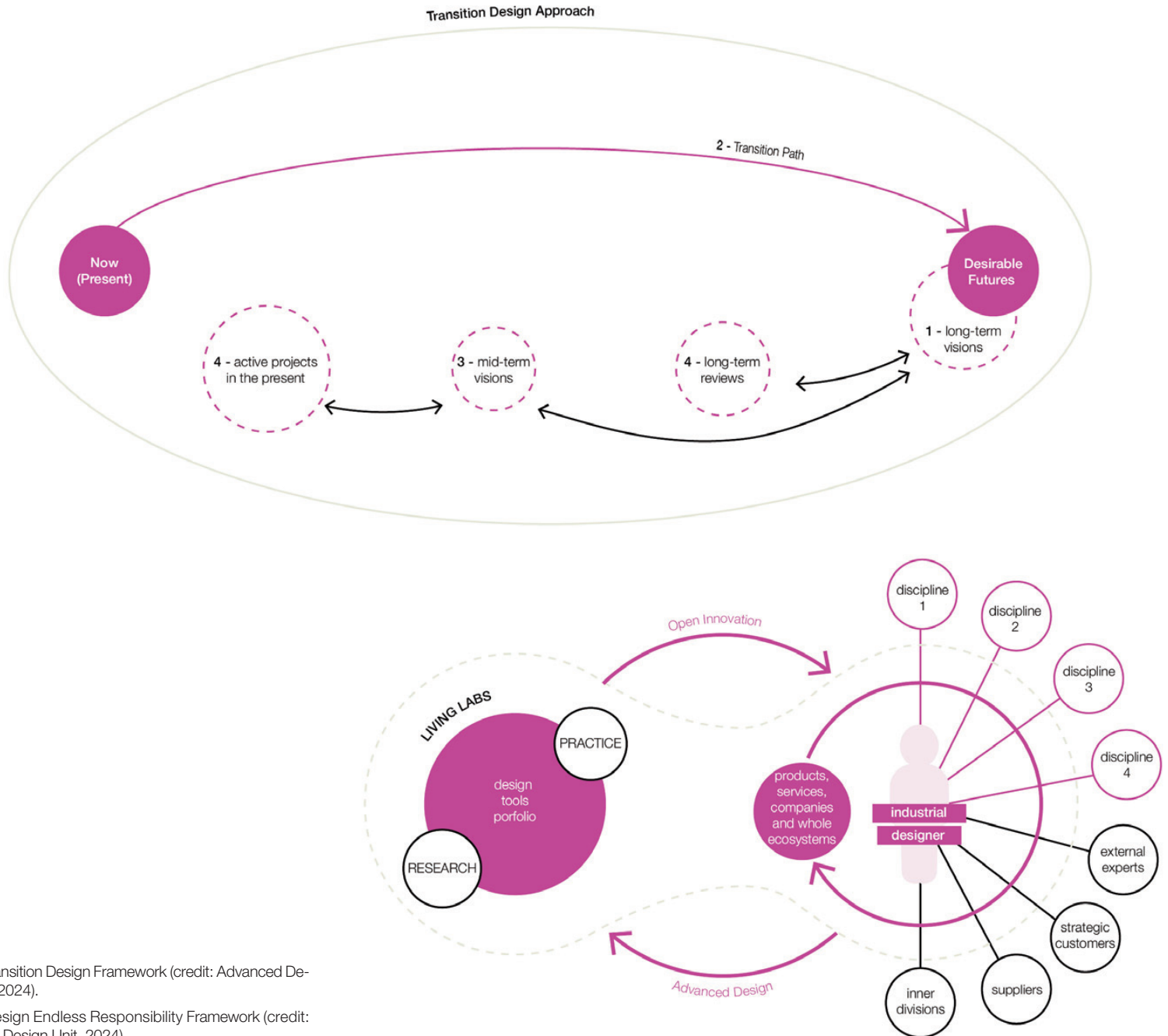


Fig. 2 | Transition Design Framework (credit: Advanced Design Unit, 2024).

Fig. 3 | Design Endless Responsibility Framework (credit: Advanced Design Unit, 2024).

Historical and cultural references demonstrate how, from the 60s to today, the Design sector has addressed the theme of sustainability in all its forms – both material and immaterial – with the use of critical thinking, considering it as the designer's main objective in response to the various environmental, economic and social crises, through critical groups and movements (Formia, 2017), forms of activism such as exhibitions, posters and magazines (Celaschi and Celi, 2015) and proposing disruptive visions projected towards new forms of responsibility and/or reading reality as a set of interdependent relationships (Fry, 2009; Floridi, 2020).

John Muir's (1916) process of Conservationism defines how design approaches that pursued the concepts of ecology, sustainability, etc., were influenced by earlier intellectual movements arising in the cultures of conservation of natural resources, green spaces, and wildlife, the same ones that led to the development of the concept of sustainability. This phenomenon finds, within the environmental protectionism of the 1960s and 1970s, the first mass movements regarding respect for the environment and protection from pollution caused by the industrialisation of the entire Planet (Carson, 1962). The energy crisis of the 1970s is when the vulnerability of modern societies and dependence on fossil resources began to emerge, encouraging the growth of responsible approaches and paving the way for the sustainable development-focused movements of the 1980s and 1990s.

Since the 1970s, figures such as Maldonado (1970) or Papanek (1971) highlighted, within these development processes, how the work of a designer could influence the social context, prompting the need to newly address the relationship between design and ecological thinking and between humans and the environment, to act on that period's environmental crisis. Those same years saw the start of the first international meetings to address emergencies related to resources, inter-territory relations, economics, and the environment, thus bringing out the theme of Environment by Design and highlighting the need to support communities to reappropriate the environment by recreating more equitable relationships (Formia, 2017).

Similarly, there are several actions in the Italian context for reviewing and discussing conventional growth models, such as the Global Tools Program 1973-1975 (Borgonuovo and Franceschini, 2018; Formia, 2017). The Our Common Future Report (WCED, 1987) then initiated a process of finding a balance between economic development, environmental conservation and social equity that led to 20th-century global environmentalism.

Since 1987, many working tables have stimulated the review of international policies related to the consumption of resources (for example, the Earth Summit of 1992) and the understanding of what the use of these resources means in terms of impact on people and territory. The decade following the Brundtland Report saw the development of the Kyoto Protocol (1997), which involved almost all of the world's countries, sealing an agreement to reduce emissions and paving the way for programs such as Agenda 21 (UN, 1992); the last step in this long process was the 2015 Paris Climate Agreement (UN, 2015a) to achieve climate neutrality. The first twenty years of the 21st century were characterised by the search for a contemporary model of circular economy and environmental jus-

tice that resulted in the 2030 Agenda (UN, 2015b), which established common goals for sustainable development.

This brief excursus represents a concise and non-exhaustive overview of the evolution of contemporary thinking on the issues of sustainability and circularity that consolidates the expectations towards which today's transition processes must strive, so long as we move away from an anthropocentric view and activate a sustainable process that takes into account resilience, circular approaches, and eco-system well-being and care (Lauria and Azzalin, 2021).

In this complex context, the article aims to outline a new profile of designers with advanced skills in anticipation and transition studies, able to guide companies towards a responsible, collaborative and inclusive transition. The new figure will need to possess a strong critical awareness of the social and environmental implications of industrial design, as well as the ability to contribute to more sustainable and adaptable models in a constantly changing environment.

The figure of the Transitional Industrial Designer is therefore introduced, presenting design processes and types of impacts to be pursued through a critical analysis of established or emerging approaches and methodologies that pursue sustainability with different visions, highlighting the intersection of circularity, sustainability, responsibility and transition; finally, the application of these methodologies in the context of an ongoing European project is discussed.

Analysis of the sustainability of design phenomena, approaches, and methodologies

In light of the various methodologies that have followed in the field of Design, it is important to try to formulate an overall analysis matrix that analyses the specifics that characterise the various design approaches by bringing out the critical issues, qualities, and limitations. Therefore, according to a qualitative analysis, it was possible to identify twelve main approaches that propose established or emerging models for achieving certain aspects of transition according to the formulation explored above.

The classification elements have been inserted into a matrix (Tab. 1) and define the analysis categories of design approaches in relation to the impacts that Design has on the various levels of territorial capital which constitutes the intervention context (Villari, 2018) and the design process – understood as actions, tools, methods – that is used to achieve the objectives set in the design action. The impacts were, in turn, divided into three macro-dimensions: concerning the relationship of people, society, and the environment, material and immaterial systems of anthropisation, and the use of the planet's resources.

The 'relationships' dimension analyses the impact that a specific approach has on people, society, gender equity, and the environment; it is declined in ethics, inclusion, care, open access, transparency, and public engagement (Stilgoe, Owen and Macnaghten, 2013) with reference to the individual micro-scale of the person to the collective macro-scale of society and the environment. This dimension finds its relevance within European policies that pursue the concept of Responsible Research and Innovation (von Schomberg, 2011), where the themes of relationships, acceptability,

and desirability are essential for reaching integrated innovation processes.

The 'system' dimension is constituted by the transformative systems' impact on the context in which we operate: the productive, cultural and infrastructural physical and intangible systems that condition the transportation of goods, people, data and computing power (Mitchell, 1995). This system can be defined as the complex of elements (tangible and intangible) available to the territory, which may constitute strengths or genuine constraints depending on the aspects taken into consideration (Farrell, Thirion and Soto, 1999); the elements can be read as value, thus becoming key parts of design thinking (Parente and Sadini, 2018).

Finally, the 'resources' dimension is related to the tangibility of the elements that negatively affect our environment: the consumption of natural resources, air pollution, water waste and overconsumption, and the energy problem (EEA, 2023).

Regarding the part of the matrix that classifies the design process, key aspects were selected from the various approaches used to achieve transition in its multiple dimensions. The items proposed in the matrix are participatory, collaborative, iterative, disruptive, scenaristic, speculative, and anticipatory. It is important to emphasise how participatory processes (Simonsen and Robertson, 2012) and collaborative ones (Sanders and Stappers, 2008; Steen, 2013) connect to the concept of co-creation, seen as a 'crucial element for the long-term sustainability of territorial systems' (Barbero and Pereño, 2020). Iteration, which is typical of a complete design process, is also considered a key ranking element for sustainability processes, as constantly confronting real needs makes the process and the achievement of results more efficient.

Partly in antithesis to the iterative process is the disruptive approach that introduces the concept of 'creative destruction' as a form of transformation and evolution and is applied by various methodologies (Brown and Wyatt, 2010), including as a form of protest to traditional design. The last three items of the matrix are strictly linked to future studies in which the processes of scenarism, speculative and anticipatory in the cultures of the project characterise design methodologies that focus on a long-term vision.

Specifically, scenaristic (Colombi and Zindato, 2019) and anticipatory (Celi and Morrison, 2019) are seen as elements that can relate past, present and future, where the future is an area in which the various involved stakeholders can imagine a possible, probable or potential reality that leads to developing continuous innovation (Celaschi, Celi and Formia, 2014). The relationship between design and future studies is also discussed in the speculative design process (Dunne and Raby, 2013), employing, among other tools, prototypical diegetic artefacts that can explore desirable scenarios and materialise a future yet to be investigated (Celi, Rognoli and Ayala-García, 2023).

The matrix categories described allow for analysis from the micro to the macro scale, from material and immaterial perspectives, and how the selected approaches and methodologies primarily focus on these aspects. The condition is only selected as fulfilled when it is stated in the founding assumptions of a movement or methodology and not when it is an indirect effect of its application.

The movements or methodologies analysed

	IMPACT									DESIGN PROCESS							
	RELATIONS				SYSTEMS			RESOURCE UTILIZATION				participative	collaborative (co-design)	iterative	disruptive	scenaristic	speculative
	persons/users	gender equity	society	environment	productive	cultural	infrastructures	natural resources	pollution	energy consumption	water consumption						
Advanced Design	✓			✓	✓	✓	✓					✓	✓	✓	✓	✓	✓
Transition Design	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓

Tab. 2 | Design Endless Responsibility Matrix, an approach that combines Advanced Design and Transition Design: defining factors (credit: Advanced Design Unit, 2024).

were Design for Public Utilities, Radical Design, Design Thinking, Human-centred Design, Speculative Design, Advanced Design, Responsible Design, Transition Design, Design for Social Innovation, Systemic Design, Design for Sustainable Behaviour, and Design for Sustainability Transition. As shown by the analysis matrix, several disciplines have explored the relationships between design and the future (Norman, 2008; Dunne and Raby, 2013) and between design and anticipation (Poli, 2019; Miller, Rossel and Jørgensen, 2012). Furthermore, Systemic Design, Advanced Design, and Design for Sustainability Transitions can be identified as disciplines that unite sustainability studies with those of scenaristics (Pereno and Barbero, 2020); many take ‘relationships’ into account at the design stage and introduce participatory and collaborative design processes to analyse problem domains and/ or achieve expected outcomes systematically.

Two methodologies stand out in the overall framework, integrating, more than others, impacts and processes for transition into practice: Transition Design and Advanced Design effectively explore the link between transition and sustainability in its various declinations through the different tools / processes described in the matrix. These two approaches are further investigated below to identify their peculiarities and critical issues with the aim of combining them and proposing a new designer profile. However, Responsible Design (Boehnert, Sinclair and Dewberry, 2022) also remains of particular interest as compared to other approaches; it addresses responsibility, another key element of transition, with a lens that is not only technical but also socio-political.

Advanced Design and Transition Design: characteristics, relationships and critical issues | Advanced Design (Fig. 1) provides project stakeholders with the ability to think in an anticipatory way and react to rapid changes in the context to develop continuous innovation (Celi, 2015), leveraging the designer’s ability to mediate between knowledge (Celaschi, 2008) and to act systemically in the design of products and processes. By applying studies on futurology, trends, and latent needs analysis in the project, the Advanced Designer imagines a distant future to design alternative preferable scenarios in the near future, considering the entire stakeholder system (Celaschi, 2020).

Transition Design comes from the practices of Service Design and Design for Social Innovation (Irwin, 2015) and aims to solve complex problems, which would take decades to solve, through a holistic and systemic project vision (Irwin, 2015). Transitions remain open and speculative to evolve based on the knowledge acquired from the present projects; designers are considered agents of change within complex social and natural systems (Irwin, 2015).

The anticipation process specific to both disciplines is a key concept in sustainable and circular design: being able to anticipate futures means anticipating the impermanence of needs (Rau and Oberhuber, 2019). Transition Design involves rethinking projects already developed in the present to converge into effective future solutions for the entire system of stakeholders working around a large-scale social problem (Fig. 2). Advanced Design sees the designer as a figure capable of handling hybrid skills and professions for multi-actor contexts. Advanced Design and Transition Design operate at the social, strategic, and conceptual levels (Irwin, 2015) while possessing a systems approach to the project that enables a deeper understanding of the role of design from a micro (aesthetic, material, chemical, instrumental) to a macro (holistic, process, relational, symbiotic) scale.

Both then become approaches that integrate circularity with sustainability as a key dimension of transition, leading to continually shifting perspectives between user needs and systemic implications of the production process. Advanced Design and Transition Design can facilitate this process, apply it to a time scale, and allow for a smooth transition that leads to adequate preparation, mindset, and time to absorb change (Irwin, 2015).

A review of the responsibilities of the Transitional Industrial Designer: toward Design Endless Responsibility | While the above analysis shows how the combination of these two approaches – Advanced Design and Transition Design – can support the community in understanding transition and making it part of their decision-making, production and purchasing processes, it also highlights how responsibility is not a foundational factor of these methodologies, but an indirect effect in which it is not clear what characterising elements it must pursue and up to what level.

The terms ‘responsible’ and ‘accountability’ take

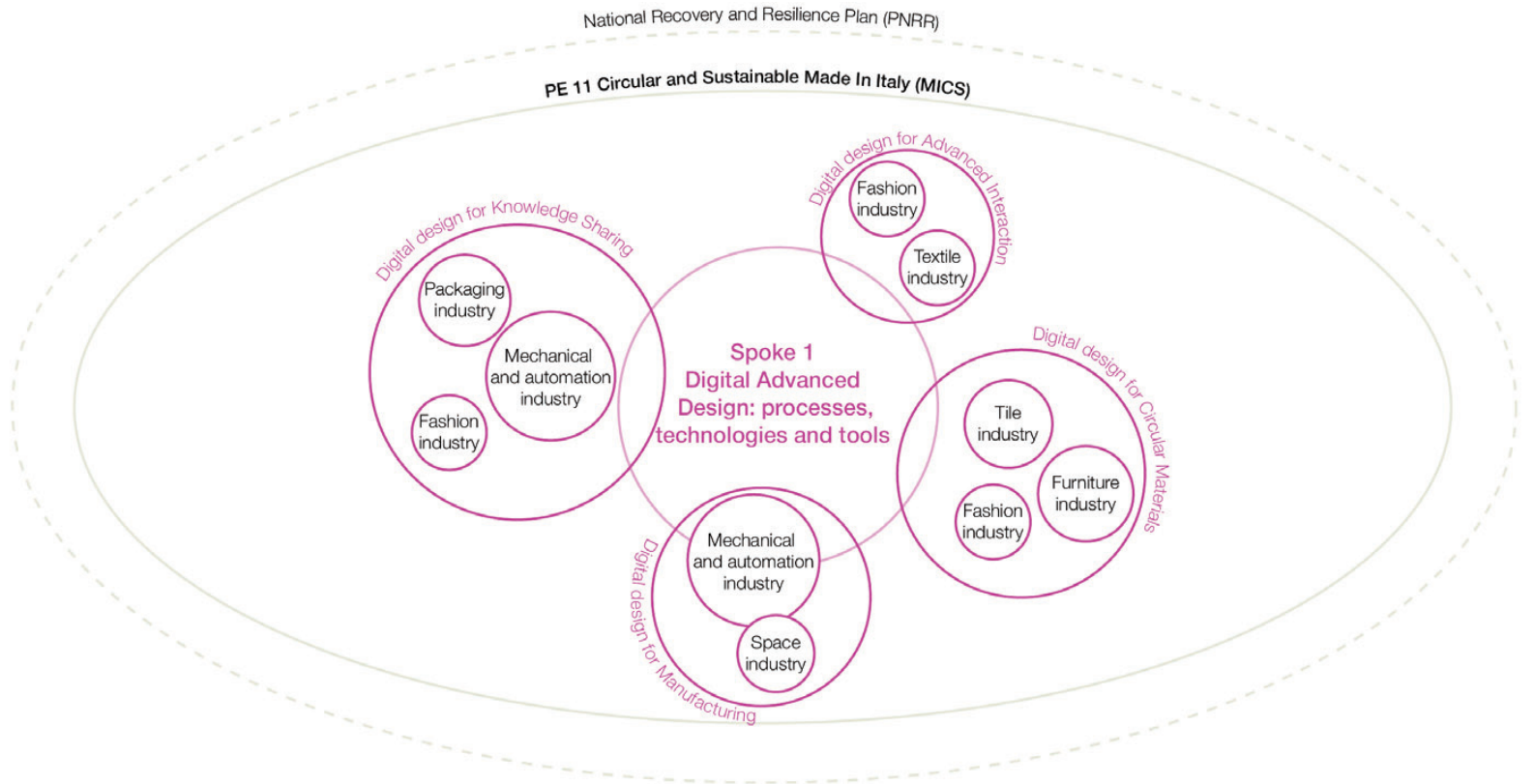
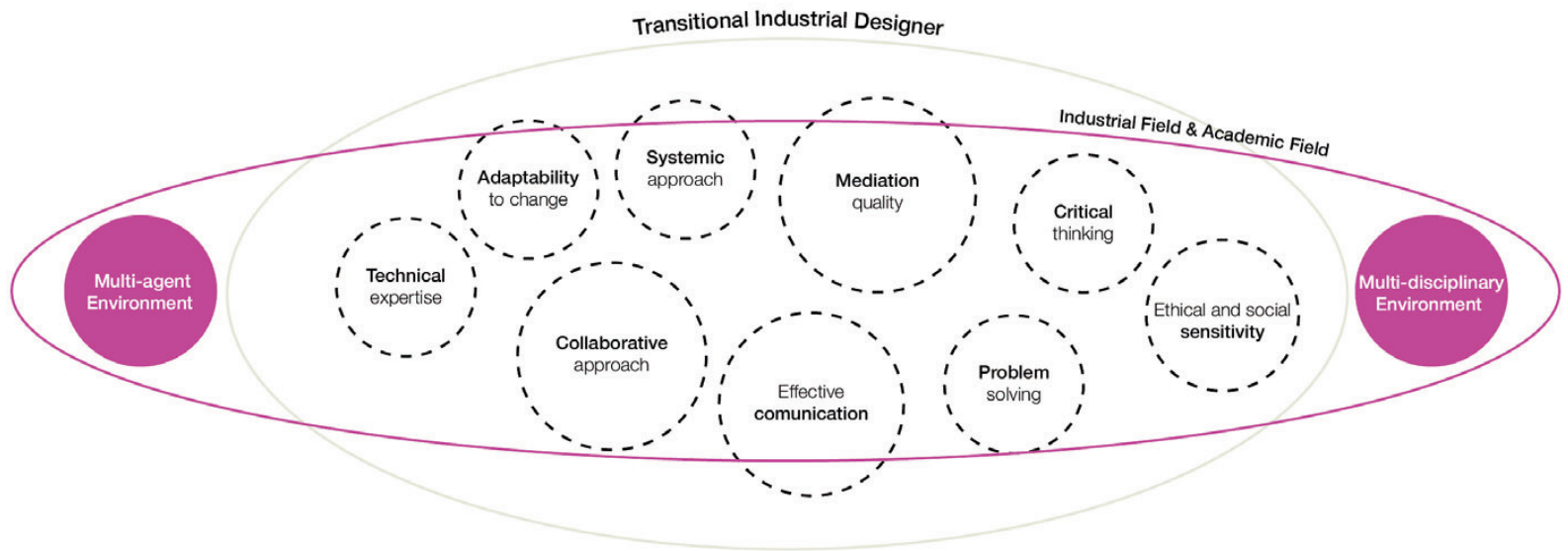
on various connotations within the disciplines and with respect to the contexts to which they refer (Gianini, Pearson and Reber, 2019): 1) legal, related to the concept of duty; 2) empirical, concerning the social context and the role it holds in decision-making; 3) ethical, referring to rules and principles; 4) epistemic, observing those involved to identify their positive and negative qualities; and 5) caring, toward the well-being of the individual, the community, and the Planet (Stahl et alii, 2021).

These dimensions are complemented by those of individual responsibility (Fisher and Rip, 2013) and collective responsibility (von Schomberg, 2011) in which the sharing of knowledge, skills and opinions leads toward collective knowledge, concepts that are increasingly close to the changes and challenges facing designers, institutions, businesses and society today, as design processes are characterised by interdisciplinarity, user involvement in the conception and/or production stages and the need to consider the environment as a finite resource.

The integration of these concepts with those discussed in the previous paragraphs leads us toward Design Endless Responsibility (DER), according to which the designer is called upon not only to connect and mediate domains and stakeholders involved in the design process, characteristic of multi-agent and multi-disciplinary contexts, but also to take into account the entire value chain, from conception to end-of-life, considering the future impacts related to each design step, all the way to the transmission of value in both the design and end-user domains (Fig. 3).

The recovery and enhancement of this principle in the project dimension must necessarily lead to ensuring that design processes, knowledge, and practices consider the factors in the exposed analysis matrix, without which DER cannot be pursued to define responsible solutions. DER can become a control system and a tool to verify, at every design stage, whether all impacts are being evaluated and how their achievement is being attempted.

The Transitional Industrial Designer: profile of a Designer who adapts to complexity | If DER becomes a design verification system, it is possible to envision it as a key tool for the future designer who, considering all the factors in the ‘criticality matrix fully’, must find a new combination of approaches to achieve transition goals comprehensively. In



Digital design for manufacturing

Design of digital models for human life and human-computer interaction, transformative and continuous manufacturing, and robotic systems, including analysis of human life in extreme habitats (deep space).

Digital design for Circular Materials

Digital solutions for design control of bio-based and waste materials for the textile and furniture industry. Digital tools for the design and evaluation of more sustainable new ceramic product solutions.

Digital design for Advanced Interaction

Virtual tools for designers in both haptic and visual Extended Reality for simulation in textile fabrics. Digital twins for predictive models and to support the life cycle of products in the Fashion supply chain.

Digital design for Knowledge Sharing

Digital tools to create virtuous cycles in industry, textiles and packaging through innovative ways to communicate and connect across sectors.

Fig. 4 | Transition Industrial Designer Framework (credit: Advanced Design Unit, 2024).

Fig. 5 | Outline summary of the Spoke 1 – PE 11 MICS – National Recovery and Resilience Plan (NRRP) project lines (credit: Advanced Design Unit, 2024).

Next page

Fig. 6 | Stakeholders involved in Spoke 1 – PE 11 MICS – NRRP (credit: Advanced Design Unit, 2024).

Fig. 7 | Outline summary of Spoke 1 – PE 11 MICS – NRRP’s multidisciplinary and multi-actor nature (credit: Advanced Design Unit, 2024).

this regard, the ADU identifies, in the combination of Advanced Design and Transition Design (Tab. 2), the ‘formula’ to activate a new designer figure called Transitional Industrial Designer.

The Transitional Industrial Designer thus assumes the ability to harness anticipatory practices (Celaschi and Celi, 2015) in transforming the social, economic, environmental and production context with a holistic approach that considers all tangible and intangible elements as part of an integrated ecosystem. The proposal derives not only from the theoretical construct described but also from the analysis of other Transition Designer figures proposed in recent years by various authors. Starting with the work of Irwin (2015), who defines the figure of the Transition Designer as a designer capable of observing and solving ‘wicked problems’ through individual Social and Service Design actions, several further studies have attempted to transfer these skills to different sectors or areas of knowledge and applications.

The Transition Product Designer, for example, assigns the product the role of activator of transitions by acting on a local micro-system in which spatial knowledge enables the creation of representative and sustainable artefacts to stimulate the development of transition strategies (Bisson et alii, 2022). The Transitional Industrial Packaging Designer (Giardina, 2023) applies these skills to packaging, enhancing digital and technological skills, as well as knowledge and awareness comprehension and dissemination to reach citizens.

Again, further in-depth study on the role of materials resulted in the definition of the Transition Matter Designer (Rosato, 2023), a designer who can identify a critical system product for the use of materials and can, therefore, guide the supply chain stakeholders in a process of multi-metamorphosis to gradually design a sustainable and circular tran-

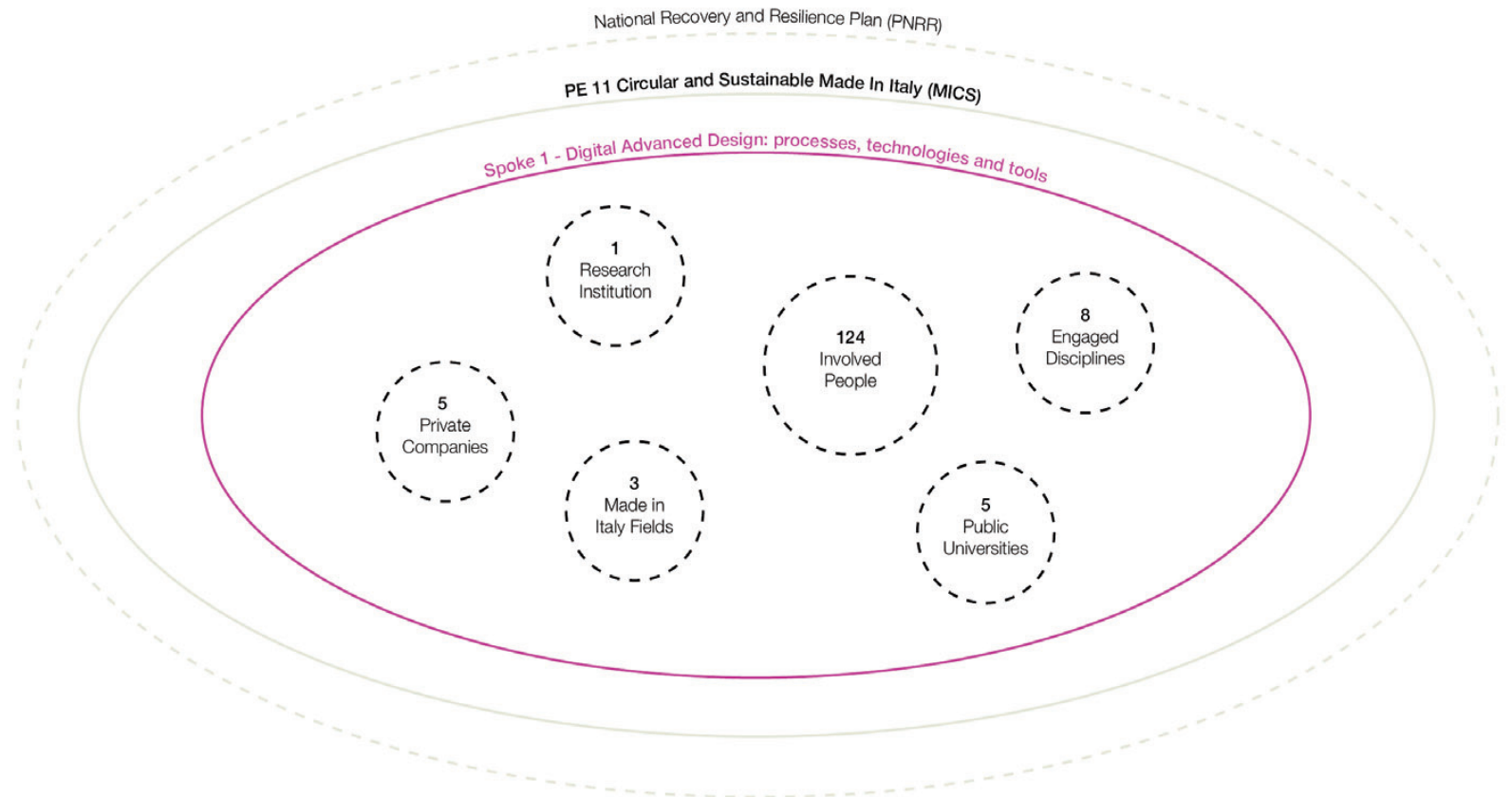
sition, acting at different scales of the project. The aforementioned research and experiments carried out in recent years (Bisson et alii, 2022; Giardina, 2023; Rosato, 2023) and the multidisciplinary and multi-actor context under research consolidate the authors’ proposal toward the inclusion in industrial and complex contexts of the Transitional Industrial Designer (TID), a figure who supports the ability to design transition and manage its preferable futures by taking on the role of mediator and coordinating all the stakeholders involved in material and immaterial processes (Fig. 4).

The TID acts as a mediator between production and knowledge ecosystems, considering the variables of social, economic and production systems, collaborating with industrial and academic stakeholders to redesign relationships, systems, processes and resource use, and finally using change management skills and impact analysis, following the design processes indicated in the criticality matrix (Tab. 2) to achieve a design aimed at ecological, digital and economic transition. As anticipated, the criticality matrix proposed in the paper summarises the factors considered by the DER and represents the tool used by the Transitional Industrial Designer to check how well or poorly their transformative actions affect the ecosystem in terms of impacts.

The theoretical reflection on the figure of the TID is being tested in a multidisciplinary, multi-actor and complex context such as that of the Spoke 1 project ‘Digital Advanced Design – Technologies, Processes, and Tools’, a thematic line of the macro-project Made in Italy Circular and Sustainable (MICS), a Research Program funded by the MUR (Ministry of University and Research) under the NextGenerationEU Plan and one of the projects related to Mission 4 ‘Education and Research’ of the Italian NRRP (Fig. 5). The characteristics and lines of intervention of this Spoke allow the designer to come into



- **University**
 University of Bologna - Alma Mater Studiorum
 University of Firenze - Università degli studi di Firenze
 University of Napoli - Federico II
 University of Roma - Sapienza
 University of Torino - Polytechnic University of Turin
- **Research Institute**
 National Research Council of Italy - CNR of Bologna
- **Company**
 SACMI s.c.
 SCM group
 AEFEE group
 ITALTEL
 Thales Alenia Space Italia



contact with tangible elements, and the combination and diversity of the stakeholders involved will lead to experimenting with the TID model in very heterogeneous contexts (Figg. 6, 7).

Conclusions | The article presents the Transitional Industrial Designer as a key figure in guiding businesses towards a sustainable, responsible and circular transition. This designer figure will need to be able to work closely with industry sectors and communities, promoting more sustainable and adaptable models in a changing environment. The conducted analyses highlighted the intersection of circularity, sustainability, accountability and transition, showing how design can be a powerful tool for change, able to operate by design in complex contexts.

The matrix proposed in this contribution has proved to be an initial verification tool to understand how the figure of the Transition Industrial Designer will be required to develop a new design focus, concentrating more on the impacts of a project in all its phases rather than only on the formal outcome. In

fact, the designer's responsibility does not stop with the development or production of a product service but must extend to its end-of-life, identifying appropriate processes that allow other stakeholders to intervene along the entire value chain. In addition, the matrix supports a Design Endless Responsibility type approach, which implies a continuity of multidisciplinary relationships in the project and time continuity in a post-project that requires new tools for impact assessment.

To give greater impact to the considerations outlined in this contribution, the speculative nature of which is a consequence of the current state of research, the plan is to expand the analysis of multidisciplinary processes and experiments within the NRRP MICS project, consistent with the research objectives of Spoke 1 (led by the University of Bologna), which aim to develop a theoretical framework for the creation of new tools to support the industrial designer.

The project, which will end in December 2025, is currently carrying out experimentation through which models and tools should be implemented

and tested in the coming years of research. The aim is to understand how the figure of the Transitional Industrial Designer can truly be operative, not only in controlling the design phase of industrial products but also in other areas and sectors such as architecture or healthcare.

Acknowledgements

This study was carried out within the MICS (Made in Italy Circular and Sustainable) Extended Partnership and received funding from the European Union Next-GenerationEU (Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza – PNRR – Missione 4 – Componente 2, Investimento 1.3 – D.D. 1551.11-10-2022, PE00000004). This manuscript reflects only the Authors' views and opinions; neither the European Union nor the European Commission can be considered responsible for them. The paper is the result of a joint effort of all four Authors. However, the introductory paragraphs and 'A review of the responsibilities of the Transitional Industrial Designer: toward Design Endless Responsibility' are attributed to L. Succini; 'Analysis of the sustainability of design phenomena, approaches, and methodologies' to M. Zannoni and L. Succini; 'Advanced Design and Transition Design: characteristics, relationships and critical issues' to L. Rosato; 'The Transitional Industrial Designer: profile of a designer who adapts to complexity' to L. Rosato and M. Zannoni; while the Conclusions to all of the Authors. V. Pasini processed the images.

Note

1) For more information, see the webpage: designmanifestos.org/the-designx-collaborative-a-future-path-for-design-why-designx-designers-and-complex-systems/ [Accessed 12 March 2024].

References

Amatullo, M., Boyer, B., May, J. and Shea, A. (eds) (2022), *Design for Social Innovation – Case Studies from Around the World*, Routledge.

Barbero, S. (2018), "Local Ruralism – Systemic Design for Economic Development", in Jones, P. and Kijima, K. (eds), *Systemic Design*, vol. 8, Springer Japan, Tokyo, pp. 271-291. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-4-431-55639-8_9 [Accessed 12 March 2024].

Barbero, S. and Ferrulli E. (2023), "Transizione ecologica e digitale – Il Design Sistemico nei processi di innovazione aperta delle PMI | Ecological and digital transition – Systemic Design in SMEs open innovation processes", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 13, pp. 269-280. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/13232023 [Accessed 12 March 2024].

Barbero, S. and Pereno, A. (2020), "Editorial", in *Strategic Design Research Journal*, vol. 13, issue 2, pp. 109-112. [Online] Available at: doi.org/10.4013/sdrj.2020.132.01 [Accessed 12 March 2024].

Bisson, M., Palmieri, S., Ianniello, A. and Botta, L. (2022), "Transition product design – Una proposta di framework per un approccio olistico alla progettazione sistemica | Transition product design – A framework proposal for a holistic approach to systemic design", in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 12, pp. 202-211. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/12182022 [Accessed 12 March 2024].

Boehnert, J., Sinclair, M. and Dewberry, E. (2022), "Sustainable and Responsible Design Education – Tensions in Transitions", in *Sustainability*, vol. 14, issue 11, article 6397, pp. 1-26. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su14116397 [Accessed 12 March 2024].

Borgonuovo, V. and Franceschini, S. (eds) (2018), *Global Tools – Quando l'educazione coinciderà con la vita – 1973-1975*, SALT / Garanti Kültür AŞ, Istanbul.

Brown, T. and Wyatt, J. (2010), "Design Thinking for Social Innovation", in *Development Outreach*, vol. 12, issue 1, pp. 29-43. [Online] Available at: [\[797X_12_1_29\]\(https://doi.org/10.1596/1020-797X_12_1_29\) \[Accessed 12 March 2024\].](https://doi.org/10.1596/1020-</p>
</div>
<div data-bbox=)

Carson, R. (1962), *Silent Spring*, Houghton Mifflin, Boston/New York.

Celaschi, F. (2020), *Non Industrial Design – Contributi al discorso progettuale*, Luca Sossella Editore, Roma.

Celaschi, F. (2008), "Design Come Mediatore Tra Bisogni", in Germak, C. (ed.), *Uomo al Centro Del Progetto – Design per un Nuovo Umanesimo | Man at the Centre of the Project – Design for a New Humanism*, Umberto Allemandi, Torino, pp. 40-52.

Celaschi, F. and Celi, M. (2015), "Advanced design as reframing practice – Ethical challenges and anticipation in design issues", in *Futures*, vol. 71, pp. 159-167. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.futures.2014.12.010 [Accessed 12 March 2024].

Celaschi, F. and Deserti, A. (2007), *Design e Innovazione – Strumenti e pratiche per la ricerca applicata*, Carrocci, Roma.

Celaschi, F., Celi, M. and Formia, E. M. (2014), "Quando il design incontra il futuro | When Design Meets Future", in *Utopia – Passato, Presente, Futuro | Utopia – Past, Present, Future*, vol. 3, pp. 20-29.

Celi, M. (ed.) (2015), *Advanced Design Cultures – Long-Term Perspective and Continuous Innovation*, Springer International Publishing, Cham. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-319-08602-6 [Accessed 12 March 2024].

Celi, M. and Morrison, A. (2019), "Anticipation and Design Inquiry", in Poli, R. (ed.), *Handbook of Anticipation – Theoretical and Applied Aspects of the Use of Future in Decision Making*, Springer International Publishing, Cham, pp. 795-819. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-319-91554-8_49 [Accessed 12 March 2024].

Celi, M., Rognoli, V. and Ayala-Garcia, C. (2023), "Prototypes for Speculative Design Research", in Ferraris, S. D.

- (ed.), *The Role of Prototypes in Design Research*, Springer Nature Switzerland, Cham, pp. 61-84. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-031-24549-7_4 [Accessed 12 March 2024].
- Colombi, C. and Zindato, D. (2019), "Design Scenarios and Anticipation", in Poli, R. (ed.), *Handbook of Anticipation*, Springer International Publishing, Cham, pp. 821-842. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-319-91554-8_52 [Accessed 12 March 2024].
- Dunne, A. and Raby, F. (2013), *Speculative Everything – Design, Fiction, and Social Dreaming*, The MIT Press, Cambridge (MA).
- EEA – European Environment Agency (2023), *EEA Report Trends and Projections in Europe 2023*, EEA Report 07/2023. [Online] Available at: eea.europa.eu/publications/trends-and-projections-in-europe-2023 [Accessed 12 March 2024].
- European Commission (2019), *Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – The European Green Deal*, document 52019DC0640, 640 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN [Accessed 12 March 2024].
- Escobar, A. (2018), *Designs for the Pluriverse – Radical Interdependence, Autonomy, and the Making of Worlds*, Duke University Press.
- Escobar, A. (2015), "Transiciones – A space for research and design for transitions to the pluriverse", in *Design Philosophy Papers*, vol. 13, issue 1, pp. 13-23. [Online] Available at: doi.org/10.1080/14487136.2015.1085690 [Accessed 12 March 2024].
- Farrell, G., Thirion, S. and Soto, P. (1999), *La Competitività Territoriale – Costruire Una Strategia Di Sviluppo Territoriale alla Luce dell'Esperienza LEADER*, Quaderno 6, Fascicolo 1, Osservatorio Europeo LEADER. [Online] Available at: digilandder.libero.it/geopoli/competitivite.pdf [Accessed 12 March 2024].
- Fisher, E. and Rip, A. (2013), "Responsible Innovation – Multi-Level Dynamics and Soft Intervention Practices", in Owen, R., Bessant, J. and Heintz, M. (eds), *Responsible Innovation – Managing the Responsible Emergence of Science and Innovation in Society*, Wiley, pp. 165-183. [Online] Available at: doi.org/10.1002/9781118551424.ch9 [Accessed 12 March 2024].
- Floridi, L. (2020), *Il Verde e il Blu – Idee Ingenuie per Migliorare la Politica*, Raffaello Cortina editore, Milano.
- Formia, E. (2017), *Storie Di Futuri e Design – Anticipazione e Sostenibilità nella Cultura Italiana del Progetto*, Maggioli, Santarcangelo di Romagna.
- Fry, T. (2018), *Design Futuring – Sustainability, Ethics and New Practice*, Bloomsbury Visual Arts, London.
- Gianni, R., Pearson, J. and Reber, B. (eds) (2019), *Responsible Research and Innovation – From Concepts to Practices*, Routledge, New York.
- Giardina, C. (2023), "Holistic Approach in Design Research – Made in Italy Circular Packaging Innovation by Transitional Industrial Designers", in *DIID | Disegno Industriale Industrial Design*, vol. 1, issue 79, pp. 1-14. [Online] Available at: doi.org/10.30682/diid7923b [Accessed 12 March 2024].
- Irwin, T. (2018), "The Emerging Transition Design Approach", in Storni, C., Leahy, K., McMahon, M., Lloyd, P. and Bohemia, E. (eds), *Design as a catalyst for change | DRS International Conference 2018, 25-28 June, Limerick, Ireland*, Carnegie Mellon University. [Online] Available at: doi.org/10.21606/drs.2018.210 [Accessed 12 March 2024].
- Irwin, T. (2015), "Transition Design – A Proposal for a New Area of Design Practice, Study, and Research", in *Design and Culture | The Journal of the Design Studies Forum*, vol. 7, issue 2, pp. 229-246. [Online] Available at: doi.org/10.1080/17547075.2015.1051829 [Accessed 12 March 2024].
- Koskinen, T. and Thomson, M. (eds) (2012), *Design for Growth & Prosperity – Report and Recommendations of the European Design Leadership Board*, European Publications Office. [Online] Available at: op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/a207fc64-d4ef-4923-a8d1-4878d4d04520 [Accessed 12 March 2024].
- Lauria, M. and Azzalin, M. (2021), "Paradigmi | Paradigms", in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 9, pp. 12-21. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/912021 [Accessed 12 March 2024].
- Maffei, S. (2021), "Expanding the Galaxy – Designing More-than-Human Futures", *DIID | Disegno Industriale Industrial Design*, vol. 75, issue 8, pp. 14-21. [Online] Available at: doi.org/10.30682/diid7521a [Accessed 12 March 2024].
- Maldonado, T. (1970), *La speranza progettuale – Ambiente e società*, Einaudi, Torino.
- Miller, R., Rossel, P. and Jorgensen, U. (2012), "Future studies and weak signals – A critical survey", in *Futures*, vol. 44, issue 3, pp. 195-197. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.futures.2011.10.001 [Accessed 12 March 2024].
- Mitchell, W. J. (1995), *City of bits – Space, place, and the infobahn*, The MIT Press, Cambridge (MA).
- Muir, J. (1916), *A Thousand-mile Walk to the Gulf*, Houghton Mifflin, Boston.
- Norman, D. A. (2013), *Il design del futuro*, Apogeo, Milano.
- Owen, R. (2019), "Foreword – From responsible innovation to responsible innovation systems", in Gianni, R., Pearson, J. and Reber, B. (eds), *Responsible Research and Innovation – From Concepts to Practices*, Taylor and Francis, pp. XI-XVI.
- Papanek, V. (1971), *Design for a Real World – Human Ecology and Social Change*, A Bantam Book, Toronto/New York/London.
- Parente, M. and Sadini, C. (eds) (2018), *D4T – Design per i Territori – Approcci, Metodi, Esperienze*, List Lab, Trento.
- Pereno, A. and Barbero, S. (2020), "Systemic design for territorial enhancement – An overview on design tools supporting socio-technical system innovation", in *Strategic Design Research Journal*, vol. 13, issue 2, pp. 113-136. [Online] Available at: doi.org/10.4013/sdrj.2020.132.02 [Accessed 12 March 2024].
- Poli, R. (ed.) (2019), *Handbook of Anticipation – Theoretical and Applied Aspects of the Use of Future in Decision Making*, Springer International Publishing, Cham. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-319-91554-8 [Accessed 12 March 2024].
- Rau, S. and Oberhuber, S. (2019), *Material Matters – L'importanza della Materia – Un'alternativa al sovrasfruttamento*, Edizioni Ambiente, Milano.
- Rosato, L. (2023), *Transition Matters – Il ruolo del designer nella transizione sostenibile e circolare dei materiali polimerici*, Dissertation Thesis, XXXV ciclo, Alma Mater Studiorum – University of Bologna, Bologna. [Online] Available at: amsdottorato.unibo.it/10916/ [Accessed 12 March 2024].
- Sanders, E. B.-N. and Stappers, P. J. (2008), "Co-creation and the new landscapes of design", in *CoDesign*, vol. 4, issue 1, pp. 5-18. [Online] Available at: doi.org/10.1080/15710880701875068 [Accessed 12 March 2024].
- Simonsen, J. and Robertson, T. (2013), *Routledge International Handbook of Participatory Design*, Routledge.
- Stahl, B. C., Akintoye, S., Bitsch, L., Bringedal, B., Eke, D., Farisco, M., Grasenick, K., Guerrero, M., Knight, W., Leach, T., Nyholm, S., Ogoh, G., Rosemann, A., Salles, A., Trattnig, J. and Ulmiche, I. (2021), "From Responsible Research and Innovation to responsibility by design", in *Journal of Responsible Innovation*, vol. 8, issue 2, pp. 175-198. [Online] Available at: doi.org/10.1080/23299460.2021.1955613 [Accessed 12 March 2024].
- Steen, M. (2013), "Co-Design as a Process of Joint Inquiry and Imagination", in *Design Issues*, vol. 29, issue 2, pp. 16-28. [Online] Available at: doi.org/10.1162/DESI_a_00207 [Accessed 12 March 2024].
- Stilgoe, J., Owen, R. and Macnaghten, P. (2013), "Developing a framework for responsible innovation", in *Research Policy*, vol. 42, issue 9, pp. 1568-1580. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.respol.2013.05.008 [Accessed 12 March 2024].
- UN (2015a), *Paris Agreement*. [Online] Available at: unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/english_paris_agreement.pdf [Accessed 12 March 2024].
- UN – General Assembly (2015b), *Transforming our World – The 2030 Agenda for Sustainable Development*, document A/RES/70/1. [Online] Available at: sdgs.un.org/2030agenda [Accessed 12 March 2024].
- UN – United Nations (1992), *Agenda 21*. [Online] Available at: sdgs.un.org/sites/default/files/publications/Agenda21.pdf [Accessed 12 March 2024].
- Villari, B. (2018), "A Service Design Approach to Analyse, Map and Design Sharing Services", in Bruglieri, M. (ed.), *Multidisciplinary Design of Sharing Services*, Springer International Publishing, Cham, pp. 3-24. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-319-78099-3_1 [Accessed 12 March 2024].
- von Schomberg, R. (ed.) (2011), *Towards Responsible Research and Innovation in the Information and Communication Technologies and Security Technologies Fields*, Report from the European Commission Services. [Online] Available at: doi.org/10.2139/ssrn.2436399 [Accessed 12 March 2024].
- WCED – World Commission for Environment and Development (1987), *Our Common Future World*, Brundtland Report. [Online] Available at: are.admin.ch/are/en/home/media/publications/sustainable-development/brundtland-report.html [Accessed 12 March 2024].

ARTICLE INFO

Received	22 March 2024
Revised	17 April 2024
Accepted	25 April 2024
Published	30 June 2024

MICRO-RETI LOCALI PER LA TRANSIZIONE VERDE DELLA FILIERA DELLA LANA

LOCAL MICRO-NETWORKS FOR GREEN TRANSITION OF THE WOOL SUPPLY CHAIN

Rossana Gaddi, Luciana Mastrodonardo

ABSTRACT

Oggi le aree interne italiane affrontano sfide complesse quali spopolamento, isolamento e debolezza economica. Attraverso un progetto di ricerca condotto a Taranta Peligna (Chieti, IT), si mira a valorizzare la filiera della lana, con l'adozione di un approccio sistemico, co-progettuale e di collaborazione tra Enti locali, Istituzioni e comunità. Per sviluppare soluzioni innovative e sostenibili, adottando le metodologie del design sistemico e mediante l'analisi di casi studio internazionali, si propongono azioni concrete, come la creazione di una comunità energetica e l'attivazione di centri di lavaggio sostenibili e di un Osservatorio di rete. Attraverso una serie di interventi strategici il progetto intende ristabilire l'importanza dell'industria laniera, integrando tecnologie moderne in processi tradizionali per realizzare un'economia locale rivitalizzata e a impatto ridotto.

Italy's inland areas face complex challenges such as depopulation, isolation and economic weakness. Through a research project conducted in Taranta Peligna (Chieti, IT), the paper aims to enhance the wool supply chain by adopting a systemic, co-design and collaborative approach among local governments, institutions and communities. To develop innovative and sustainable solutions, implementing systemic design methodologies and through the analysis of international case studies, concrete actions are proposed, such as creating an energy community and the activation of sustainable washing centres of a Network Observatory. Through a series of strategic interventions, the project aims to re-establish the importance of the wool industry by integrating modern technologies into traditional processes to achieve a revitalised, low-impact local economy.

KEYWORDS

aree interne, economia circolare, filiera della lana, comunità energetiche, design sistemico

inland areas, circular economy, wool supply chain, energy communities, systemic design

Rossana Gaddi, Designer and PhD, is an Associate Professor at the Department of Architecture of the University of 'G. d'Annunzio' in Chieti-Pescara (Italy), where she specialises in Communication Design and enhancement of local and territorial resources. She has participated in national and international seminars and research programs on innovation for cultural and territorial valorisation, as well as communication and system design for social inclusion. E-mail: rossana.gaddi@unich.it

Luciana Mastrodonardo, Architect and PhD, is a Researcher at the Department of Architecture of the University 'G. d'Annunzio' in Chieti-Pescara (Italy), where she specialises in Architectural Technology and Process Sustainability. She has participated in national and international seminars and research programs on the impact of sustainability at various scales and dimensions. E-mail: l.mastrodonardo@unich.it



Le aree interne italiane, caratterizzate da marginalità geografica ed economica e bassa densità abitativa, oggi affrontano sfide complesse ampiamente dibattute in letteratura (Becattini, 2015; Carrosio, 2019; De Rossi, 2018; Teti, 2022; Basile and Cavallo, 2020) quali lo spopolamento, la carenza di servizi, la debolezza del tessuto produttivo e la conseguente marginalizzazione sociale. Le cause sono molteplici e ascrivibili a fattori geografici (isolamento e distanza da centri urbani maggiori), economici (mancanza di investimenti e di opportunità lavorative), sociali (servizi pubblici primari carenti, in primis formativi e abilitanti, carenza di cultura imprenditoriale).

Per invertire questa rotta è necessario cogliere le opportunità offerte dai Piani strategici incentrati sull'economia circolare, quali il Circular Economy Action Plan (European Commission, 2020) passando da un modello produttivo lineare basato sullo sfruttamento delle risorse a uno di tipo circolare e rigenerativo (Ellen MacArthur Foundation, 2015), promuovendo la filiera corta, investendo nelle energie rinnovabili e nell'economia verde, valorizzando il patrimonio per sviluppare modelli di turismo sostenibile, agevolare la digitalizzazione e rafforzare la collaborazione tra Istituzioni, Enti e cittadini (Bolognesi and Magnaghi, 2020).

All'interno del dibattito sulla de-marginalizzazione delle aree rurali interne (Barbera, Cerosimo and De Rossi, 2022) emergono i rischi di intransigenti posizioni opposte e logiche estrattive (Acemoglu and Robinson, 2013) che non favoriscono progettualità partecipative e non apportano vantaggi per le comunità locali. La valorizzazione delle attività rurali ad alto valore aggiunto non richiede approcci semplificati ma gradi raffinati di complessità e integrazione, mettendo a rete conoscenze e competenze innovative dal punto di vista imprenditoriale e sociale (Duong, Wang and Radics, 2021).

In tal senso la filiera della lana e delle razze autoctone ovine, un tempo risorsa di grande valore e oggi caratterizzata dal basso ritorno di investimento e difficoltà nella gestione sostenibile dei processi produttivi (Klepp and Tobiasson, 2022), è un asset che può contribuire a contrastare lo spopolamento delle aree interne, favorendo transizione energetica e innovazione sistemica (Sanua, Simboli and Taddeo, 2020), con ricadute positive a livello economico, sociale e ambientale. In tal senso la transizione va supportata da un modello energetico distribuito e climaticamente neutro, sfruttando il potenziale delle Comunità Energetiche Rinnovabili (CER).

Obiettivi e fasi | Il presente contributo si pone l'obiettivo generale di definire una strategia attuativa per valorizzare i territori interni del Centro-Sud Italia e promuovere azioni design-driven integrate, sostenibili e inclusive (Ferrara and Squatrito, 2022) che possano analizzare l'intero ciclo di vita della lana autoctona nazionale, adottando un approccio sistemico per valutare la complessità dei processi e massimizzare le potenzialità dell'economia circolare.

La ricerca a cui si riferisce è stata avviata nel 2022, con la firma di una convenzione tra il Dipartimento di Architettura dell'Università degli Studi 'G. d'Annunzio' di Chieti-Pescara e il Comune di Taranta Peligna, un piccolo agglomerato urbano della Provincia abruzzese di Chieti a forte decre-

mento, all'interno della SNAI Basso Sangro-Trigno-Sinello, ultra-periferico rispetto alla distanza dal polo più vicino. Il suo territorio è in gran parte compreso nel Parco Nazionale della Maiella e conta risorse ambientali a potenzialità turistiche inesprese (tra cui il Parco Fluviale delle Acque vive e le Grotte del Cavallone). I Beni storico-culturali sono tutti legati alla storia economica e sociale dell'Alta Valle dell'Aventino e alla lavorazione della lana, di cui Taranta Peligna è stato il capoluogo economico.

Le attività di ricerca, supportate anche dalle risorse PNRR del bando Borghi (Linea B – Interventi per la rigenerazione culturale e sociale dei piccoli borghi storici) che verranno impiegate a partire dal 2024, integrano i dati derivanti dalla revisione della letteratura con quelli ottenuti dai casi studio analizzati per poi attualizzarli nella ricerca sul campo in tre macro-fasi analitiche e progettuali: fase 1) analisi e ascolto; fase 2) rilevazione delle opportunità strategiche; fase 3) messa in rete delle risorse (Fig. 1).

Metodologia e strumenti | La metodologia di ricerca, interdisciplinare e deduttiva, mette al centro gli approcci del Design Sistemico (Bistagnino, 2009) applicandoli all'analisi energetico / ambientale (Butera, 2021), per supportare la comprensione delle dinamiche della complessità (Bisson et alii, 2022), favorire la valorizzazione del territorio attraverso servizi, prodotti e comunicazione dalla forte caratterizzazione relazionale (Magnaghi, 2020) e facilitare i processi di transizione (Irwin, 2019) sostenendo, collegando e sviluppando interventi per cambiare intenzionalmente valori, tecnologie, pratiche sociali e infrastrutture (Fig. 2).

Questa visione generale pone le basi per una esplorazione più approfondita attraverso la tecnologia dei processi produttivi sostenibili (Di Dio et alii, 2022) e i principi fondamentali dell'approccio sistemico (interrelazione tra scarti e risorse di sistemi produttivi differenti; relazioni all'interno del sistema; autoipotesi e rigenerazione; azione nei contesti locali; essere umano al centro del progetto) con il coinvolgimento di attori e processi esterni in grado di generare cicli industriali aperti (Barbero and Ferulli, 2023) e rifacendosi a teorie quali la Cluster Theory (Porter, 1998), per rafforzare la complementarità delle imprese locali, l'Ecologia industriale (Frosch, 1992), per ridurre consumi e rifiuti, e le Simbiosi Industriali integrate (Ayres, 1994) con valutazioni LCA (Wiedemann et alii, 2020), per ottimizzare gli scambi di materie prime e energia.

Il contributo delle discipline del Design permette di individuare gli strumenti metodologici e operativi per inquadrare il sistema esistente, progettare sistemi scalabili multilivello e attivare processi partecipati e buone pratiche a basso impatto: le fasi di sviluppo si valuteranno con indicatori di monitoraggio bottom-up di tipo:

- Sociale, per il coinvolgimento degli attori locali in collaborazioni e sinergie (monitoraggio del numero e della qualità delle collaborazioni di rete instaurate con altre organizzazioni, istituzioni o enti);
- Culturale, con innovazione e apprendimento continuo e cooperativo (monitoraggio del livello di innovazione e apprendimento generato, numero di soluzioni proposte, partecipazione a eventi di formazione o diffusione);
- Economico, in termini di risorse (anche derivate da bandi competitivi) impiegate e loro allocazione;

- Welfare, rispetto a produzione di servizi e prodotti per gli abitanti (numero di azioni e/o servizi attivati);

- Ambientale, relativo all'impatto ambientale ed energetico (valutazione dei flussi di materiali ed energia, delle emissioni, del consumo di risorse naturali e dell'efficienza energetica).

Analisi di contesto: rete locale a zero emissioni (Fase 1 – 2022-2023) | Le prime fasi analitiche del progetto hanno riguardato l'ascolto dei bisogni comunitari, l'analisi quantitativa e il coinvolgimento degli stakeholder, per ottenere una mappatura delle risorse locali utile alla definizione di una comunità energetica neutra. Il coinvolgimento attivo del Comune di Taranta Peligna, soggetto promotore della ricerca, e degli stakeholder locali (tra cui il Parco Nazionale della Maiella, Enti e associazioni locali, realtà imprenditoriali e formative regionali) ha permesso di delineare le prospettive di crescita a partire dalle risorse locali, per individuare un set ampio di opportunità strategiche da poter confrontare secondo indicatori comuni, circoscrivere le più promettenti e testarle attraverso progetti pilota nelle fasi successive.

Oltre alle risorse energetiche solari (Comune di Taranta Peligna, 2015), la presenza di energia idroelettrica a cascata ha suggerito l'adozione di un approccio decentrato di produzione / consumo, per aumentare il potenziale circolare dell'energia. Per Taranta Peligna è stato quindi proposto un modello di autoproduzione multimodale distribuito (Fig. 3) che possa sfruttare l'energia idroelettrica a cascata presente nel territorio e implementare l'energia fotovoltaica già esistente su coperture pubbliche, attivando impianti locali rinnovabili gestiti in modo condiviso. I vantaggi del modello multi-sorgente proposto includono la valorizzazione delle fonti rinnovabili adatte alla produzione e all'uso di prossimità, ma anche la riduzione dei picchi di potenza (giornaliera del fotovoltaico e stagionale dell'idroelettrico) e degli squilibri legati alle diverse fonti rinnovabili (Gaddi and Mastrodonato, 2023).

L'ascolto locale ha inoltre individuato prospettive per lo sviluppo di micro-azioni che necessitano di ulteriore accompagnamento nella costruzione di modelli di business credibili rispetto agli attori locali attivi (Figg. 4-7). L'analisi di esperienze imprenditoriali recenti e fallimentari ha mostrato la scarsa propensione ad azioni imprenditoriali e la necessità di supporto formativo e di rafforzamento delle potenzialità esistenti per attivare il protagonismo locale. Per far fronte a questo rischio la comunità energetica sarà supportata da una 'comunità di pratica' (Wenger, 1998) per lavorare in modo cooperativo sulla condivisione del processo di identificazione dei bisogni, l'accrescimento della conoscenza e la promozione delle micro-economie nel territorio.

La partecipazione attiva dei consumatori alle Comunità Energetiche Rinnovabili (CER), per invertire il processo di distribuzione energetica centralizzata e migrare verso un modello di energia distribuita basata su fonti rinnovabili locali e tecnologie avanzate, è in linea con gli obiettivi europei legati al Green Deal (European Commission, 2019) e in Italia segue il Decreto n. 414 del 7 dicembre 2023 (MASE, 2023) che estende il concetto di CER alla cabina primaria (fino a 1 MW). Il Comune di Taranta Peligna, con l'avallo del Parco della Maiella

la e il coinvolgimento della propria comunità, propone la costituzione di una comunità energetica le cui fasi strategiche progettuali in costruzione riguardano: 1) la mappatura dei consumi finali di energia, delle fonti energetiche usate, dell'intensità energetica del territorio, delle emissioni di CO₂ e del livello di dipendenza energetica, individuando anche la localizzazione delle opere di presa e di restituzione e restituendo l'esatto paesaggio idroelettrico attuale; 2) il sistema artificiale dell'idroelettrico, che genera punti di accesso al paesaggio, per il recupero del patrimonio ambientale anche in chiave turistica; 3) gli scenari di auto sostenibilità locale. Nei tratti ritenuti idonei, e compatibilmente con la normativa regionale, si può prevedere il potenziamento di vecchi impianti (pubblici e privati) o la creazione di nuovi punti di captazione.

Dopo l'analisi delle risorse energetiche del Comune di Taranta Peligna è stata implementata l'azione pre-progettuale per la definizione di vincoli e opportunità strategiche per la creazione scenari e concept progettuali innovativi. L'individuazione della rilevanza dei centri di stoccaggio e di lavaggio della lana suocida all'interno della filiera italiana è stata ottenuta tramite l'analisi e l'ascolto delle realtà laniere riconosciute a livello nazionale (tra cui aziende private di allevamento, trasformazione e nobilitazione della materia prima, valorizzazione e manifattura) e la mappatura di stakeholder ed Enti territoriali (tra cui il Comune di Taranta Peligna, la Cooperativa di Comunità Tarantula, il Gruppo di Azione Locale Valle Seriana e Laghi Bergamaschi), le associazioni, i network e i gruppi di ricerca universitari.

Opportunità strategiche: il lavaggio della lana suocida (Fase 2 – 2023-2024) | La filiera della lana si presenta come un sistema frammentato e con diverse difficoltà strutturali quali la mancanza di integrazione, la scarsa collaborazione tra i diversi attori (allevatori, processatori, aziende manifatturiere, di trasformazione finale e di valorizzazione) che ne ostacolano lo sviluppo e la competitività. Inoltre, la competizione internazionale comporta profondi effetti economici e sociali sui sistemi di

produzione locali, quali il ridimensionamento delle filiere, la riduzione dei redditi da impresa e lavoro, il calo della domanda di beni e servizi indiretti, la minore generazione di risparmio per investimenti e, non in ultimo, l'aumento dell'impatto ambientale legato ai consumi energetici, ai residui chimici, ai rifiuti generati e al trasporto dei beni (Fig. 8).

In un contesto di mercato che vede la finezza del filato medio italiano come non competitivo rispetto all'offerta neozelandese, anche le pregiate lane autoctone come la Merinos italiana e la Gentile di Puglia spesso non vengono adeguatamente valorizzate, vendute a prezzi inferiori a quelle di importazione. Diversamente, la lana non utilizzata o di scarto rappresenta un problema significativo per gli allevatori, con costi elevati per lo smaltimento, perché sottoprodotto di origine animale e quindi rifiuto speciale (The European Parliament and the Council, 2009). Individuando le criticità di filiera sono emerse soluzioni replicabili dalle migliori buone pratiche (Tab. 1) sul tema in grado di superare alcune criticità strutturali coinvolgendo le comunità locali e includendo il lavaggio (Allafi et alii, 2022).

In Sudafrica, uno dei maggiori Paesi produttori di lana al mondo, è stato condotto uno studio (Matlhoko et alii, 2023) per la valorizzazione della lana autoctona, analizzando le usanze tradizionali della comunità di allevatori, per aumentare il benessere animale e la qualità del vello. La Free State University ha condotto un programma formativo rivolto ai piccoli allevatori e alla comunità focalizzato sull'intera catena del valore della lana: allevamento, lavorazione della lana, vendita del semilavorato e sviluppo del prodotto.

Agli allevatori sono stati insegnati i processi tradizionali oggi automatizzati nelle industrie laniere, come la pettinatura a mano con acqua calda e detergente, l'asciugatura all'aria e l'uso di pettini per cardare e rimuovere l'erba dalla lana pettinata. Inoltre è stata valutata l'efficacia del modello di lavaggio decentrato a basso impatto utilizzando metodi tradizionali di strigliatura su piccola scala, per gli agricoltori che non hanno accesso a macchinari sofisticati. Utilizzando un microscopio elettro-

nico a scansione, tecniche di spettrofotometria e analisi statistica a diversi tempi di lavaggio si è dimostrato che l'utilizzo di una combinazione di detersivo standard con un tempo di lavaggio di 10-15 minuti produce il risultato migliore in termini di proprietà della fibra, colore della lana e perdita di prodotto per abrasione, dimostrando la validità di tali processi di pulizia.

Il progetto ha dimostrato grande innovazione anche nei prodotti, fornendo agli stakeholders informazioni utili su come ottimizzare le pratiche di gestione delle risorse umane, sviluppare capacità analitiche e incoraggiare la creazione di nuove idee per il progetto (Parwita et alii, 2021); in aggiunta la ricerca ha posto l'enfasi sulla conoscenza condivisa e mediata dalla creatività quale mediatore di competenza, per generare innovazione sociale e innovazione (Arsawan et alii, 2022), evidenziando l'importanza del networking e della formazione per aumentare il potenziale di crescita dei piccoli allevatori.

Nell'isola di Gotland, in Svezia, è stato condotto un progetto di interesse nazionale di ricostruzione della filiera della lana considerata un prodotto di scarto dagli allevatori perché prodotta in eccesso rispetto alla domanda, anche per mancanza di tecnologia e capacità industriale per supportare le fasi produttive (Moberg et alii, 2023). La creazione di una rete locale di formazione e informazione per sostituire la lana importata con quella nazionale, rendere sostenibile il processo ed evitare scarti ha rafforzato notevolmente il mercato interno dei piccoli laboratori artigiani (Fig. 9).

La produzione locale laniera è importante sia dal punto di vista della sostenibilità che dell'auto-sufficienza: l'isola vanta infatti un centro di lavaggio a energia pulita a larga scala il cui impianto (Ullkonteret) riesce a riscaldare l'acqua necessaria al lavaggio utilizzando energia eolica e pellet di legno. L'acqua viene riutilizzata e per il lavaggio vengono utilizzati solo detersivi ecologici senza sostanze chimiche pericolose. La linea di lavaggio (2 tonnellate al giorno) è composta da cinque vasche in linea nelle quali la lana, grazie all'utilizzo di dipanatori e rulli, viene lavata e strizzata ripetutamente a ogni

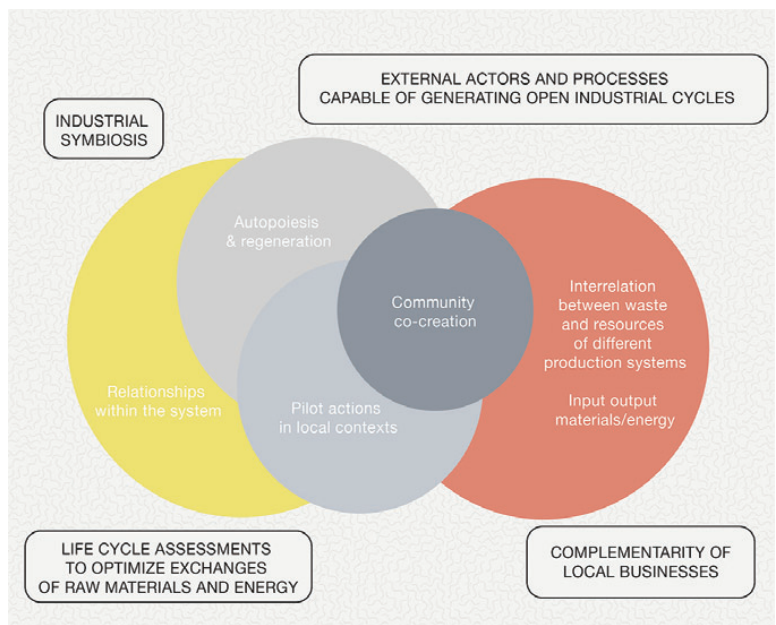
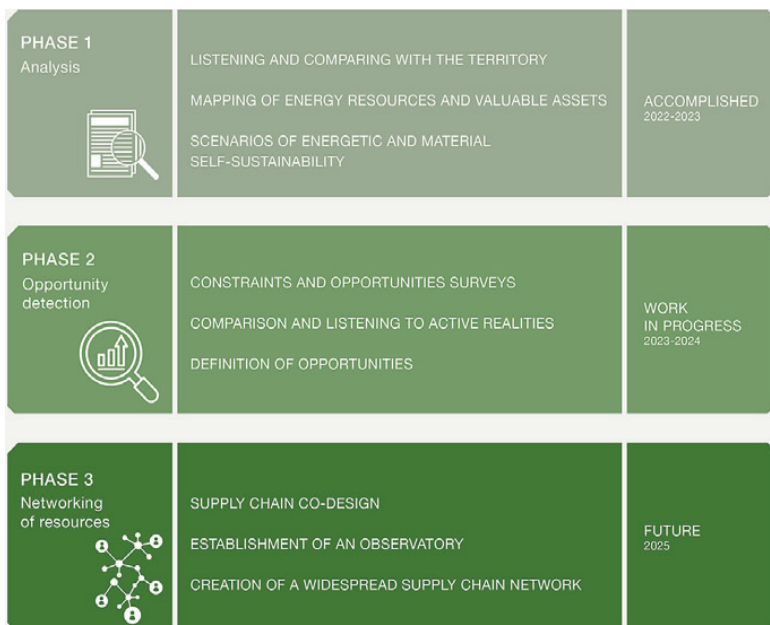


Fig. 1, 2 | Design actions and steps; Research methodology (credits: R. Gaddi and L. Mastrodonardo, 2022).

passaggio di vasca; dopo il lavaggio viene trasportata in una stanza di asciugatura (Fig. 10) e in ultimo viene pressata in balle e trasportata alla cardatura della lana, nella regione di Småland (Fig. 11).

Il progetto di Gotland ha ricevuto finanziamenti per sostenere lo sviluppo e l'organizzazione di un centro di competenza e produzione tessile per le aziende tessili a cui gli imprenditori locali si possono rivolgere per collaborazioni commerciali. I corsi e le attività di formazione per il miglioramento delle competenze hanno costituito una parte importante dell'investimento: sono state coinvolte in modo attivo le comunità locali ed è stata posta molta enfasi sul potenziale della materia prima, scura e molto morbida (Fig. 12). Il principale gruppo target dell'investimento sono state proprio le piccole aziende tessili locali interessate a produrre sotto una identità comune.

Nella Valle Verzasca, nella Svizzera italiana, è stato sviluppato un piccolo impianto sperimentale di lavaggio nato da una rete locale collaborativa, supportata dai finanziamenti dell'Ufficio Federale dell'Agricoltura e coordinata dalla SUPSI (Scuola Universitaria Professionale della Svizzera Italiana), con un focus sulla ricostruzione della filiera locale mettendo al centro sostenibilità del processo e aspetto comunitario (Menato et alii, 2015). In questo contesto il processo di lavorazione della materia prima era tradizionalmente manuale e non permetteva l'eliminazione di tutto il materiale indesiderato: la lana così ottenuta era di scarsa qualità. L'alternativa era effettuare tale processo conto terzi, con costi elevati, superiori anche a quelli di acquisto della materia prima già lavata dalla Nuova Zelanda. In dialogo aperto con l'Università si è lavorato allo sviluppo di tecnologie di lavaggio a basse temperature e senza prodotti chimici.

In uno spazio messo a disposizione dall'Amministrazione locale e trasformato in laboratorio artigianale sono state sviluppate soluzioni sostenibili per l'impianto di lavaggio, grazie al networking con l'impianto italiano di Romagnano Sesia (nei pressi del distretto laniero del biellese), dove era presente un piccolo lavaggio a basso impatto. Oggi vengono processati circa 6.000 kg di lana all'anno utilizzando ultrasuoni per eliminare il grasso dalla lana, un essiccatoio per asciugatura, tre vasche di pulizia (Fig. 13) senza detergenti chimici (che convogliano l'acqua di risulta direttamente negli scarichi comuni e permettono il recupero della lanolina – con un alto valore nella filiera cosmetica), vasche di tintura (Figg. 14, 15), nuli e telai per asciugatura, pettinatura (Fig. 16) e cardatura (Fig. 17) e un magazzino di stoccaggio che impedisce la generazione di cattivi odori.

I limiti derivanti da una filiera discontinua sono stati risolti da networking e innovazione. La ricaduta territoriale ha portato valore aggiunto su tre livelli: tecnico (sviluppando un nuovo impianto di lavaggio semi-automatico ma di piccole dimensioni, includendo le competenze del distretto laniero di Biella nel network progettuale); logistico (con l'ottimizzazione dei flussi di materia prima tra allevatori, impianto di lavaggio e gli spazi di lavorazione a valle, con costi di trasporto ridotti al minimo) e strategico (distribuendo i benefici lungo l'intera filiera e individuando nuovi mercati grazie a una governance coerente con le necessità locali).

Nonostante le difficoltà iniziali dall'analisi emerge chiaramente che la filiera della lana presenta grande potenziale di sviluppo quando è possibile

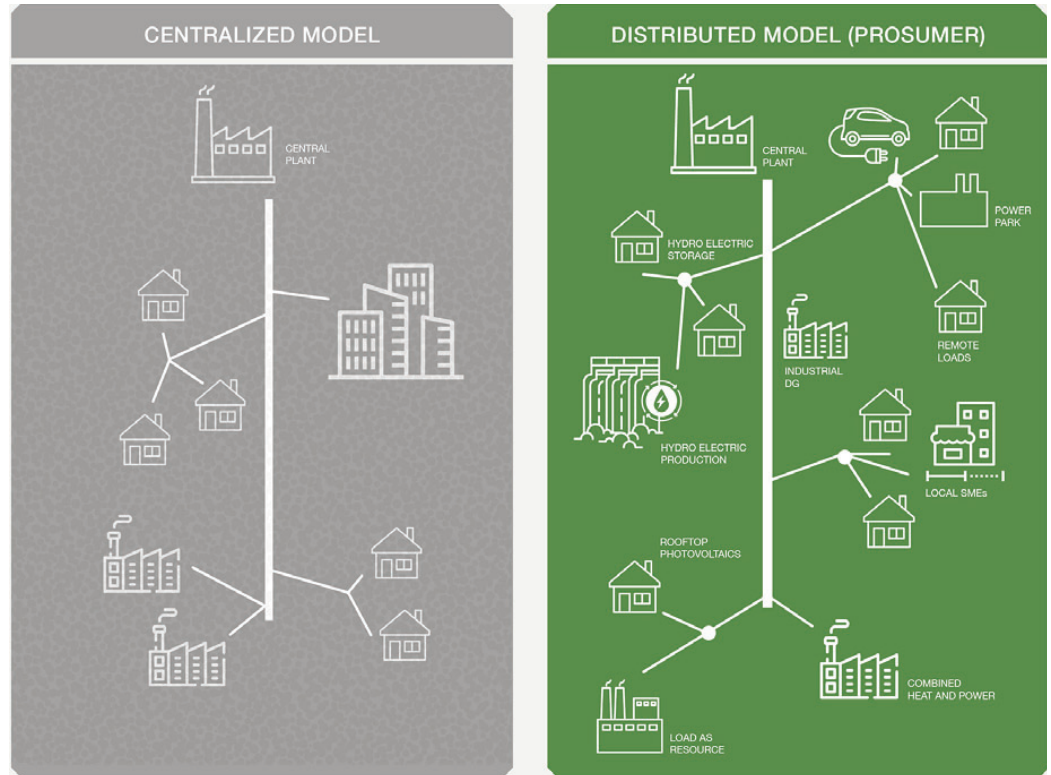


Fig. 3 | Local self-sustainability scenario referred to the advanced distributed generation model (credit: R. Gaddi and L. Mastrodonardo, 2023).

innovare il processo in modo sostenibile e collaborativo, purché aumenti la consapevolezza del valore di una filiera diffusa che necessita principalmente di due fattori: 1) 'innovazione tecnologica', in un contesto di sostanziale assenza degli impianti di lavaggio (in Italia ne rimane solo uno a Biella) per abbattere i costi di trasporto e definire una catena di lavaggio sperimentale di tipo misto (tecnologica / artigianale); 2) 'definizione di comunità consapevoli e diffuse', favorendo il dialogo tra tutti gli attori di filiera (allevatori, trasformatori, piccoli artigiani) e creando reti di Enti e persone informate.

Messa in rete delle risorse: progettazione del sistema per lo sviluppo locale (Fase 3 – 2025)

Utilizzando le energie rinnovabili del territorio e sfruttando l'idroelettrico a cascata, l'ipotesi applicativa riguarda un micro-impianto di lavaggio della lana sucida per il Centro-Sud Italia, coinvolgendo attori pubblici e privati tra i quali il marchio storico Lanificio Merlino di Taranta Peligna, proprietario di una centrale idroelettrica locale, dal salto di 12 metri, e di diversi edifici di archeologia industriale con macchinari storici che potrebbero essere rinnovati introducendo tecnologie di lavaggio a basso impatto, attraverso una gestione mista e comunitaria.

La fattibilità di un centro di lavaggio di questo tipo, capace di sfruttare energia idroelettrica o energie da fonti rinnovabili locali, verrà verificata in una fase prossima di sviluppo del progetto, grazie all'istituzione di un Osservatorio nazionale sulla filiera sostenibile delle lane autoctone italiane, che avrà l'obiettivo di facilitare lo scambio di conoscenze e buone pratiche tra i diversi attori della filiera, monitorare e valutare l'efficacia delle iniziative che verranno intraprese, rafforzare la competitività del settore sul mercato globale e promuovere innovazione di processi, prodotti e servizi. Verranno quin-

di attivati progetti pilota coinvolgendo attori di filiera con un bagaglio qualificato e diversificato di competenze e conoscenze, che già lavorano insieme sul territorio del Centro-Sud Italia, quali il già citato Lanificio Merlino (CH), il Lanificio Bianco (CH), il Lanificio Leo (CZ), gli artigiani di Pecore Attive (BA), Aquilana (AQ), Wuuls (AQ-PE-TE) e l'associazione Pecunia (AQ).

Il progetto propone quindi un modello evoluto fondato sull'economia circolare e la produzione sostenibile di una filiera della lana autoctona italiana riconfigurata: consapevole e competente, energeticamente neutra e inclusiva. Il valore aggiunto di questa azione è multiforme, promuovendo l'interdipendenza e la cooperazione tra i vari partner, incoraggiando una visione olistica e sistemica dello sviluppo locale attraverso l'accompagnamento e da parte dell'osservatorio che sarà il perno delle micro-azioni territoriali.

Riflessioni conclusive e nuove prospettive per le aree interne

La ricerca mette in luce l'importanza di affrontare le sfide connesse alle aree marginali interne del Centro-Sud Italia attraverso un approccio integrato e sistemico, aprendo la strada a una prospettiva di sviluppo sostenibile in aree dove è riscontrabile una grande presenza di risorse rinnovabili e al contempo di piccole manifatture tradizionali con competenze tecnico-professionali in grado di garantire elevati standard qualitativi. In questi territori è possibile pensare di rivitalizzare risorse locali e microeconomie comunitarie, indispensabili per una filiera energeticamente neutra.

L'attuazione di progetti pilota di rete definiti in modo sartoriale su competenze, patrimoni e capacità di resilienza dei territori rappresenta quindi il mezzo attraverso il quale si intende concretizzare questo approccio in modo scalabile, in stretta collaborazione con designer e realtà manifatturi-

riere per la creazione di soluzioni creative – improntate a una visione merceologica contemporanea che promuova un paradigma circolare (Vezzoli, Ceschin and Diehl, 2021) – basate su ciclo di vita e sull’attivazione simbiotica di vicinanza, valorizzando le risorse disponibili e al contempo promuovendo la consapevolezza del capitale sociale, culturale e territoriale locale.

L’apporto del Design, in questo contesto applicativo, è individuabile nella facilitazione delle definizioni dei ruoli chiave di una filiera innovativa dove i processi relazionali sono in stretta connessione con quelli produttivi e necessitano di un canale di dialogo sempre aperto tra le necessità della sostenibilità ambientale e di business (sostenibilità economica) che necessariamente si appoggiano sulle competenze (sostenibilità sociale).

Le fasi analitiche della ricerca hanno tuttavia confermato la complessità di un modello di sviluppo partecipato, mostrandone limiti e vincoli. Un modello basato sulla co-creazione comunitaria per un’unione di scopo in territori marginali soffre la strutturale difficoltà del superamento dell’ap-

proccio economico classico e della cultura individuale; ne è esempio la cooperativa Tarantula, costituita nel 2020, ma già in fase di chiusura per mancanza di soci. In tal senso sarà quindi fondamentale la definizione di un networking nazionale di realtà produttive e di ricerca improntato al protagonismo dei singoli, ma in un’ottica di pari responsabilità, per permettere la convergenza delle competenze strategiche diffuse nella filiera, senza sottovalutare le possibili estensioni produttive in altri settori (bio-edilizia, interior, trasporti, cosmesi, ortoflorovivaismo, etc.). Il modello di filiera, la definizione della rete e la verifica del modello di business ad oggi sono ipotesi basate sulla ricerca analitica e di confronto con gli attori, ma verranno definiti dopo l’istituzione e il monitoraggio dell’Osservatorio (fase 3).

Il modello di business proposto è di tipo distribuito e collaborativo e, coinvolgendo attivamente comunità locali, designer e produttori, può stabilire un approccio replicabile in altri territori con scarse risorse industriali, dove la messa in rete delle risorse diffuse può favorire il coinvolgimento e la re-

sponsabilizzazione della comunità per la creazione di una catena di produzione della lana a basso impatto, energeticamente neutra e in linea con gli sforzi internazionali verso la sostenibilità e l’economia circolare.

Italy’s inland areas, characterised by geographic and economic marginality and low population density, today face complex challenges widely debated in the literature (Becattini, 2015; Carrosio, 2019; De Rossi, 2018; Teti, 2022; Basile and Cavallo, 2020) such as depopulation, lack of services, weak productive fabric and consequent social marginalisation. The causes are multiple and attributable to geographic (isolation and distance from major urban centres), economic (lack of investment and job opportunities), and social (lack of primary public services, primarily educational and enabling, lack of entrepreneurial culture) factors.

In order to reverse this trend, it is necessary to seize the opportunities offered by strategic plans focused on the circular economy, such as the Circular Economy Action Plan (European Commission, 2020), by moving from a linear production model based on resource exploitation to a circular and regenerative one (Ellen MacArthur Foundation, 2015), promoting short supply chains, investing in renewable energy and the green economy, enhancing heritage to develop sustainable tourism models, promoting digitalisation, and strengthening collaboration between institutions, authorities and citizens (Bolognesi and Magnaghi, 2020).

Within the debate on the de-marginalization of inland rural areas (Barbera, Cerosimo and De Rossi, 2022) emerge the risks of intransigent oppositional positions and extractivist logics (Acemoglu and Robinson, 2013) that do not foster participatory planning and do not bring benefits to local communities. Enhancing high-value-added rural activities does not require simplified approaches but refined degrees of complexity and integration, networking innovative knowledge and skills from entrepreneurial and social perspectives (Duong, Wang and Radics, 2021).

In this sense, the wool and native sheep breeds supply chain, once a resource of great value but now characterised by low return on investment and difficulties in the sustainable management of production processes (Klepp and Tobiasson, 2022), is an asset that can help counter depopulation of inland areas by fostering energy transition and systemic innovation (Sanua, Simboli and Taddeo, 2020), with positive economic, social and environmental impacts. In this sense, the transition should be supported by a distributed and climate-neutral energy model, exploiting the potential of Renewable Energy Communities (RECs).



Fig. 4 | Freshly sheared Gentile di Puglia wool: Active Sheep, Altamura, Bari (credit: R. Gaddi and L. Mastrodonardo, 2023).

Fig. 5 | Curling detail of Gentile di Puglia wool: Active Sheep, Altamura, Bari (credit: R. Gaddi and L. Mastrodonardo, 2023).

Fig. 6 | First manual sorting: Active sheep, Altamura, Bari (credit: R. Gaddi and L. Mastrodonardo, 2023).

Fig. 7 | Carded Gentile di Puglia wool: Active Sheep, Altamura, Bari (credit: R. Gaddi and L. Mastrodonardo, 2023).

Objectives and phases | The overall objective of this paper is to define an implementation strategy to enhance the inland territories of Central-Southern Italy and promote integrated, sustainable and inclusive design-driven actions (Ferrara and Squarrito, 2022) that can analyse the entire life cycle of domestic native wool, adopting a systemic approach to assess the complexity of processes and maximise the potential of the circular economy.

The research referred to was initiated in 2022, with the signing of an agreement between the Department of Architecture at the University of 'G. d'Annunzio' in Chieti-Pescara and the Municipality of Taranta Peligna, a small urban settlement in the Abruzzo Province of Chieti experiencing a significant decline, located within the SNAI Basso Sangro-Trigno-Sinello area, which is highly peripheral concerning the distance from the nearest hub. Its territory is largely encompassed within the Maiella National Park and boasts environmental resources with untapped tourism potential (including the Acquive River Park and the Cavallone Caves); historical and cultural assets are all linked to the economic and social history of the Upper Aventino Valley and wool industry, of which Taranta Peligna was the economic hub.

The research activities, also supported by resources from the PNRR (National Recovery and Resilience Plan) through the Borghi call for proposals (Line B – Interventions for the cultural and social regeneration of small historic villages), which will be utilised starting from 2024, integrate data derived from the literature review with those obtained from analysed case studies, and subsequently actualise them in field research through three macro-analytical and design phases: Phase 1) analysis and listening; Phase 2) identification of strategic opportunities; Phase 3) networking of resources (Fig. 1).

Methodology and tools | The research methodology, interdisciplinary and deductive, focuses on Systemic Design approaches (Bistagnino, 2009) applying them to energy / environmental analysis (Butera, 2021) to support the understanding of complexity dynamics (Bisson et alii, 2022), foster the enhancement of the territory through services, products, and communication with a strong relational characterisation (Magnaghi, 2020) to facilitate transition processes (Irwin, 2019) by supporting, connecting, and developing interventions to intentionally change values, technologies, social practices, and infrastructure (Fig. 2).

This general vision lays the groundwork for deeper exploration through the technology of sustainable production processes (Di Dio et alii, 2022) and the basic principles of the systems approach (interrelation between waste and resources of different production systems; relationships within the system; autopoiesis and regeneration; action in local contexts; human being at the centre of the project) with the involvement of external actors and processes that can generate open industrial cycles (Barbero and Ferulli, 2023) and drawing on theories such as Cluster Theory (Porter, 1998), to strengthen the complementarity of local enterprises; Industrial Ecology (Frosch, 1992), to reduce consumption and waste; and Integrated Industrial Symbiosis (Ayres, 1994) with LCA assessments (Wiedemann et alii, 2020), to optimise raw material and energy exchanges.

The contribution of Design disciplines enables

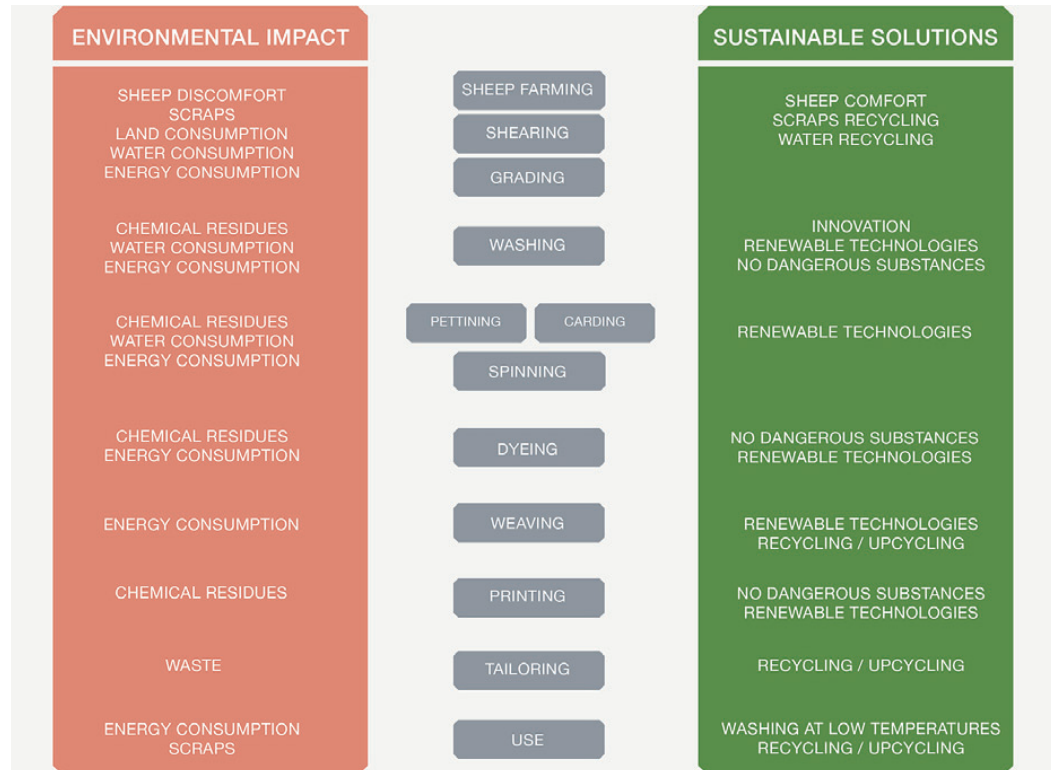


Fig. 8 | Wool supply chain: environmental impact versus sustainable solutions (credit: R. Gaddi and L. Mastrodonardo, 2023).

the identification of methodological and operational tools to frame the existing system, design scalable multilevel systems, and activate participatory processes and low-impact best practices. Development phases will be evaluated with bottom-up monitoring indicators, including:

- Social, for the involvement of local actors in collaborations and synergies (monitoring the number and quality of network collaborations established with other organisations, institutions or entities);
- Cultural, with continuous and cooperative innovation and learning (monitoring the level of innovation and learning generated, number of solutions proposed, participation in training or dissemination events);
- Economic, in terms of resources (including those derived from competitive calls) deployed and their allocation;
- Welfare, compared to the production of services and products for inhabitants (number of actions and/or services activated);
- Environmental, relating to environmental and energy impact (assessment of material and energy flows, emissions, natural resource consumption and energy efficiency).

Context analysis: zero-emission local network (Phase 1 – 2022-2023) | The initial analytical phases of the project involved listening to community needs, quantitative analysis and stakeholder involvement to obtain a mapping of local resources helpful in defining a neutral energy community. The active involvement of the Municipality of Taranta Peligna, the promoter of the research, and local stakeholders (including the Maiella National Park, local authorities and associations, and regional business and educational realities) made it possible to outline growth prospects starting with local resources, in order to identify a broad set of strategic opportunities that could be compared according to

common indicators, circumscribe the most promising ones and test them through pilot projects in the subsequent phases.

In addition to solar energy resources (Comune di Taranta Peligna, 2015), cascading hydropower suggested adopting a decentralised production / consumption approach to increase the circular energy potential. Therefore, a distributed multimodal self-generation model (Fig. 3) was proposed for Taranta Peligna, which can harness the cascading hydropower present in the area and implement the existing photovoltaic energy on public rooftops, activating local renewable plants managed in a shared way. The advantages of the proposed multi-source model include the enhancement of renewable sources suitable for proximity production and use, but also the reduction of peak power (daily of PV and seasonal of hydropower) and imbalances related to different renewable sources (Gaddi and Mastrodonardo, 2023).

Local listening also identified prospects for developing micro-actions that need further accompaniment in building credible business models with respect to active local actors (Figg. 4-7). Analysis of recent failed entrepreneurial experiences showed the low propensity for entrepreneurial actions and the need for training support and strengthening of existing potentials to activate local protagonism. To cope with this risk, the energy community will be supported by a 'community of practice' (Wenger, 1998) to work cooperatively on sharing the process of identifying needs, increasing knowledge and promoting micro-economies in the area.

The active participation of consumers in Renewable Energy Communities (RECs) – to reverse the process of centralised energy distribution and migrate to a distributed energy model based on local renewables and advanced technologies – is in line with European goals related to the Green Deal (European Commission, 2019) and in Italy follows

No.	Case study	Scientific approach and promoters	Starting Year	Nation	Lesson learned	Strengths	Weaknesses
1	Manual washing with techniques adapted from traditional methods	University of Free State	2020	South Africa	The low-impact decentralised washing model using different detergents compared to traditional wool washing methods for smallholder farmers without access to sophisticated machinery was comparatively evaluated among three different detergents, discounting traditional South African wool washing methods as an option for washing distributed wool without the use of expensive wool production machinery.	Low impact and low energy use in washing model proposed	Manual method Lot of human work
2	Restructure the national wool supply chain through network collaborations and local training	Gotland Green Center National Authorities	2015	Gotland Sweden	The National Supply Chain Reconstruction Project involves collaborative efforts to repurpose excess wool, fostering a strong domestic market. By establishing local training networks and emphasising the tourism potential of wool production, the project aims to enhance sustainability and engage the community. The studies revealed deficiencies in the national wool value chain, including technological gaps and low demand leading to waste. The project aims to support small textile businesses and promote collaboration among entrepreneurs through skill enhancement. It features large-scale, clean-energy washing facilities, contributing to eco-friendly practices in wool processing.	Local economic growth Sustainability promotion Community engagement	High initial costs Need of strong policy
3	Community cooperative small-scale greasy wool washing plant	University of Applied Sciences and Arts of Southern Switzerland (SUPSI) Federal Government of Agriculture	2015	Val Verzasca Switzerland	For wool washing currently, industrial facilities can remove unwanted materials, but the volumes processed far exceed local needs. Consequently, installing large-scale facilities is economically and environmentally impractical. Outsourcing washing, albeit costly, was considered, but already-washed wool from New Zealand proved more economical. To address this challenge, a machine for wool washing at low temperatures and without chemicals was developed. This initiative originated in a craft laboratory provided by the Municipality, offering a blend of tradition and tourism, selling garments and artisanal items.	Innovative approach to wool washing Demonstrated collaboration approach	High initial costs Dependency on technology

Tab. 1 | Comparison of case studies analysed: South Africa, Sweden, Switzerland (credit: R. Gaddi and L. Mastrodonardo, 2024).

Decree No. 414 of 7 December 2023 (MASE, 2023), which extends the concept of RECs to the primary substation (up to 1 MW).

The Municipality of Taranta Peligna, with the endorsement of the Maiella Park and the involvement of its community, proposes the establishment of an energy community whose strategic design phases under construction involve: 1) the mapping of final energy consumption, energy sources used, energy intensity of the territory, CO₂ emissions and the level of energy dependence, also identifying the location of the intake and return works, presenting the shape of the current hydroelectric landscape; 2) the artificial hydro system, which generates access points to the landscape, for the recovery of the environmental heritage also from a touristic point of view; 3) the local self-sustainability scenarios. In stretches deemed suitable and consistent with regional regulations, upgrading old facilities (public and private) or creating new catchment points can be envisaged.

After the analysis of the energy resources of the Municipality of Taranta Peligna, the pre-project action for defining strategic constraints and opportunities for creating innovative design scenarios and

concepts was implemented. The identification of the relevance of wool greasy storage and washing centres within the Italian supply chain was achieved through the analysis and listening to nationally recognised wool realities (including private companies regarding breeding, processing and ennobling of the raw material, valorisation and manufacturing) and the mapping of stakeholders and territorial bodies (including the Municipality of Taranta Peligna, the Tarantula Community Cooperative, the Local Action Group Valle Seriana and Laghi Bergamaschi), associations, networks and university research groups.

Strategic opportunities: washing greasy wool (Phase 2 – 2023-2024)

The wool industry supply chain presents itself as a fragmented system with several structural difficulties such as lack of integration, poor collaboration between different actors (breeders, processors, manufacturing, final processing and upgrading companies) that hinder its development and competitiveness. In addition, international competition entails profound economic and social effects on local production systems, such as the downsizing of supply chains, reduced incomes from business and labour, lower demand

for indirect goods and services, lower generation of investment savings, and, not least, increased environmental impact related to energy consumption, chemical residues, waste generated, and transportation of goods (Fig. 8).

In a market context that sees the fineness of the average Italian yarn as uncompetitive with the New Zealand supply, even valuable native wools such as Italian Merinos and Gentile di Puglia are often not adequately valued and sold at lower prices than imported ones. Conversely, unused or waste wool is a significant problem for farmers, with high disposal costs because it is an animal by-product and, therefore, particular waste (The European Parliament and the Council, 2009). By identifying critical supply chain issues, replicable solutions have emerged from best practices (Tab. 1) on the topic that can overcome some structural criticalities by involving local communities and including washing (Allafi et alii, 2022).

In South Africa, one of the largest wool-producing countries in the world, a study (Matlhoko et alii, 2023) was conducted to enhance the value of indigenous wool by analysing the traditional customs of the breeding community to increase animal

welfare and fleece quality. Free State University conducted an educational program targeting small-scale farmers and the community focusing on the entire wool value chain: breeding, wool processing, sale of semi-finished products, and product development.

Farmers were taught traditional processes now automated in wool industries, such as hand combing with hot water and detergent, air drying, and using carding combs to remove grass from combed wool. In addition, the effectiveness of the low-impact decentralised washing model using traditional small-scale grooming methods was evaluated for farmers without access to sophisticated machinery. Using a scanning electron microscope, spectrophotometry techniques and statistical analysis at different washing times, it was shown that using a combination of standard detergent with a washing time of 10-15 minutes produces the best result in terms of fibre properties, wool colour and abrasion product loss, demonstrating the validity of such cleaning processes.

The project demonstrated significant innovation in products as well, providing stakeholders with helpful information on how to optimise human resource management practices, develop analytical skills, and encourage the creation of new project ideas (Parwita et alii, 2021); in addition, the research emphasised shared knowledge mediated by creativity as a mediator of expertise to generate social innovation and innovation (Arsawan et alii, 2022), highlighting the importance of networking and training to increase the growth potential of small-holder farmers.

In the island of Gotland, Sweden, a project of national interest was conducted to rebuild the wool industry supply chain that was considered a waste product by farmers because it was produced more than demand, partly due to lack of technology and industrial capacity to support the production steps (Moberg et alii, 2023). Creating a local training and information network to replace imported wool with domestic wool makes the process sustainable, avoids waste, and significantly strengthens the domestic market of small artisan workshops (Fig. 9).

Local wool production is essential for both sustainability and self-sufficiency; in fact, the island boasts a large-scale clean-energy washing centre whose facility (Ullkonteret) manages to heat the water needed for washing using wind power and wood pellets. The water is reused, and only environmentally friendly detergents without hazardous chemicals are used for washing. The washing line (2 tons per day) consists of five in-line tanks in which the wool, through the use of unravelers and rollers, is washed and wrung out repeatedly on each tank pass; after washing, it is transported to a drying room (Fig. 10) and finally pressed into bales and transported to the wool carding facility in the Småland region (Fig. 11).

The Gotland project received funding to support the development and organisation of a textile expertise and production centre for textile companies to which local entrepreneurs could turn for business collaborations. Courses and training activities to improve skills were an important part of the investment: local communities were actively involved, and much emphasis was placed on the potential of the dark and very soft raw material (Fig. 12). The main target group of the investment was precisely small local textile companies interested in

producing under a common identity. In the Verzasca Valley, in Italian-speaking Switzerland, a small experimental washing plant was developed by a collaborative local network, supported by funding from the Federal Office for Agriculture and coordinated by SUPSI (Scuola Universitaria Professionale della Svizzera Italiana), with a focus on reconstructing the local supply chain by focusing on process sustainability and community aspect (Mena et alii, 2015). In this context, the process of processing the raw material was traditionally manual and did not allow the elimination of all unwanted material: the resulting wool was of poor quality. The alternative was to carry out this process on behalf of third parties, with high costs, even higher than purchasing the raw material already washed from New Zealand. In open dialogue with the university, work was done on developing low-temperature, chemical-free washing technologies.

Sustainable solutions for the washing plant were

developed in a space provided by the local government and converted into a craft workshop, thanks to networking with the Italian plant in Romagnano Sesia (near the wool district of Biella), where there was a small low-impact wash. Today about 6,000 kg of wool per year are processed using ultrasound to remove grease from the wool, a dryer for drying, three cleaning tanks (Fig. 13) without chemical detergents (which convey the wastewater directly to the common drains and allow the recovery of lanolin – with high value in the cosmetic supply chain), dyeing tanks (Fig. 14, 15), rollers and looms for drying, combing (Fig. 16) and carding (Fig. 17), and a storage warehouse that prevents the generation of odours.

The limitations arising from a discontinuous supply chain were solved by networking and innovation. The territorial spillover brought added value on three levels: technical (developing a new semi-automatic but small-scale washing plant, including

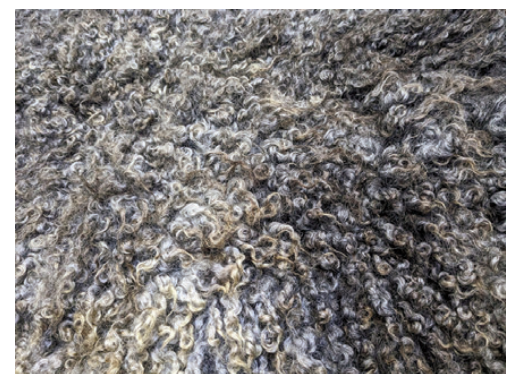


Fig. 9 | First manual sorting in Gotland Island, Sweden (source: woolrebel.com).

Fig. 10 | Greasy wool washing in Gotland Island, Sweden: drying stage (source: woolrebel.com).

Fig. 11 | Gotland wool washing in Småland region, Sweden: carding stage (source: woolrebel.com).

Fig. 12 | Dark wool from Gotland, Sweden (credit: R. Gaddi and L. Mastrodonardo, 2023).

Fig. 13 | Greasy wool washing plant in Verzasca Valley, Switzerland (source: proverzasca.ch).

the expertise of the Biella wool district in the project network); logistical (with optimisation of raw material flows between breeders, washing plant and downstream processing spaces, with minimised transportation costs); and strategic (distributing benefits along the entire supply chain and identifying new markets through governance consistent with local needs). Despite the initial difficulties, it is clear from the analysis that the wool supply chain has ex-



Fig. 14, 15 | Natural wool dyeing in Verzasca Valley, Switzerland (source: proverzasca.ch).

Fig. 16, 17 | Wool combing and wool carding in Verzasca Valley, Switzerland (source: proverzasca.ch).

cellent potential for development when it is possible to innovate the process sustainably and collaboratively, as long as awareness of the value of a widespread supply chain increases, which mainly needs two factors:

- 1) Technological innovation, given the substantial absence of washing facilities (only one remains in Biella, Italy) to reduce transportation costs and establish an experimental mixed (technological/craft) washing chain;
- 2) Establishment of informed and widespread communities, fostering dialogue among all supply chain stakeholders (farmers, processors, small artisans), and creating networks of informed entities and individuals.

Resource networking: system design for local development (Phase 3 – 2025) | Using the area's renewable energies and harnessing cascading hydropower, the application hypothesis concerns a micro-succida wool washing plant for Central-Southern Italy, involving public and private actors including the historical brand Lanificio Merlino in Taranta Peligna, owner of a local hydroelectric power plant with a 12-meter drop and several industrial archaeology buildings with historical machinery that could be renovated by introducing low-impact washing technologies through mixed and community management.

The feasibility of such a washing centre, capable of harnessing hydroelectric power or energy from local renewable sources, will be verified in a forthcoming phase of project development, thanks to the establishment of a National Observatory on the sustainable supply chain of native Italian wools, which will aim to facilitate the exchange of knowledge and good practices among the different supply chain actors, monitor and evaluate the effectiveness of the initiatives that will be undertaken, strengthen the competitiveness of the sector on the global market and promote innovation of processes, products and services. Pilot projects will, therefore, be activated by involving supply chain actors with a qualified and diversified background of skills and knowledge who are already working together in the Central-Southern Italy area, such as the aforementioned Lanificio Merlino (CH), Lanificio Bianco (CH), Lanificio Leo (CZ), the artisans of Pecore Attive (BA), Aquilana (AQ), Wuuls (AQ-PE-TE) and the Pecunia association (AQ).

The project thus proposes an evolved model based on the circular economy and sustainable production of a reconfigured Italian native wool supply chain: conscious and competent, energy neutral and inclusive. The added value of this action is multifaceted, promoting interdependence and cooperation among the various partners and encouraging a holistic and systemic vision of local development through accompaniment and by the observatory that will be the pivot of territorial micro-actions.

Concluding reflections and new perspectives for inland areas | The research highlights the importance of addressing the challenges related to the marginal inland regions of Central and Southern Italy through an integrated and systemic approach, paving the way for a sustainable development perspective in areas where there is a significant presence of renewable resources and at the same time of small traditional manufactures with technical-

professional skills that can guarantee high-quality standards. It is possible to think about revitalising local resources and community micro-economies in these areas, which is essential for an energy-neutral supply chain.

The implementation of pilot network projects tailored to the skills, assets, and resilience capacities of the territories is thus how this approach is to be concretised in a scalable manner, in close collaboration with designers and manufacturing realities for the creation of creative solutions – marked by a contemporary commodity vision that promotes a circular paradigm (Vezzoli, Ceschin and Diehl, 2021) – based on life cycle and symbiotic activation of proximity, enhancing available resources while promoting awareness of local social, cultural and territorial capital.

In this application context, Design's contribution can be identified in facilitating the definition of key roles in an innovative supply chain where relational processes are in close connection with production processes and require an ever-open channel of dialogue between the needs of environmental and business sustainability (economic sustainability) that necessarily rely on skills (social sustainability).

However, the analytical stages of the research confirmed the complexity of a participatory development model, showing its limitations and constraints. A model based on community co-creation for a union of purpose in marginal territories needs to overcome the classical economic approach and individual culture; an example is the Tarantula cooperative, established in 2020 but already closing due to a lack of members. In this sense, it will therefore be crucial to define a national networking of production and research realities marked by the protagonism of individuals, but in a perspective of equal responsibility, to allow the convergence of strategic skills spread in the supply chain, without underestimating the possible productive extensions in other sectors (green building, interior, transport, cosmetics, garden, etc.). The supply chain model, definition of the network and verification of the business model to date are hypotheses based on analytical research and comparison with actors, but they will be defined after the establishment and monitoring of the Observatory (phase 3).

The proposed business model is distributed and collaborative, and by actively involving local communities, designers and producers, it can establish a replicable approach in other areas with scarce industrial resources, where the networking of widespread resources can foster community involvement and empowerment for the creation of a low-impact, energy-neutral wool production chain in line with international efforts toward sustainability and the circular economy.

Acknowledgements

The contribution is the result of a common reflection of the Authors. Notwithstanding, the introductory paragraph and the paragraphs ‘Objectives and phases’, ‘Resource Networking: system design for local development (Phase 3 – 2025)’ and ‘Concluding reflections and new perspectives for inland areas’ are attributed to R. Gaddi. The paragraph ‘Context analysis: zero-emission local network (Phase 1 – 2022-2023)’ and ‘Strategic opportunities: washing greasy wool (Phase 2 – 2023-2024)’ are to be attributed to L. Mastrodonardo.

References

- Acemoglu, D. and Robinson, J. A. (2013), *Why Nations Fail – The Origins of Power, Prosperity and Poverty*, Profile Books.
- Allafi, F. A., Hossain, M. S., Shaah, M. and Ahmad, M. I. (2022), “A Review on Characterization of Sheep Wool Impurities and Existing Techniques of Cleaning – Industrial and Environmental Challenges”, in *Journal of Natural Fibers*, vol. 19, issue 14, pp. 8669-8687. [Online] Available at: doi.org/10.1080/15440478.2021.1966569 [Accessed 22 March 2024].
- Arsawan, I. W. E., Koval, V., Suhartanto, D., Harbar, Z. and Maslennikov, Y. (2022), “Employee-driven innovation capability – The role of knowledge, creativity, and time sufficiency”, in *Intellectual Economics*, vol. 16, issue 2, pp. 138-165. [Online] Available at: ceool.com/search/article-detail?id=1081556 [Accessed 22 March 2024].
- Ayres, R. U. (1994), *Industrial Metabolism – Theory and policy*, in Ayres, R. U. and Simonis, U. E. (eds), *Restructuring for Sustainable Development*, United Nations University Press. [Online] Available at: archive.unu.edu/unupress/unupbooks/80841e/80841E00.htm [Accessed 22 March 2024].
- Barbera, F., Cersosimo, D. and De Rossi, A. (eds) (2022), *Contro i Borghi – Il Belpaese che dimentica i paesi*, Donzelli Editore, Roma.
- Barbero, S. and Ferrulli, E. (2023), “Transizione ecologica e digitale – Il Design Sistemico nei processi di innovazione aperta delle PMI | Ecological and digital transition – Systemic Design in SMEs open innovation processes”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 13, pp. 269-280. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/13232023 [Accessed 22 March 2024].
- Basile, G. and Cavallo, A. (2020), “Rural Identity, Authenticity, and Sustainability in Italian Inner Areas”, in *Sustainability*, vol. 12, issue 3, article 1272, pp. 1-22. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su12031272 [Accessed 22 March 2024].
- Becattini, G. (2015), *La coscienza dei luoghi – Il territorio come soggetto corale*, Donzelli Editore, Roma.
- Bisson, M., Palmieri, S., Ianniello, A. and Botta, L. (2022), “Transition product design – Una proposta di framework per un approccio olistico alla progettazione sistemica | Transition product design – A framework proposal for a holistic approach to systemic design”, in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 12, pp. 202-211. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/12182022 [Accessed 22 March 2024].
- Bistagnino, L. (2009), *Systemic Design – Designing the productive and environmental sustainability*, Slow Food Editore, Bra.
- Bolognesi, M. and Magnaghi, A. (2020), “Verso le comunità energetiche”, in *Scienze del Territorio*, special issue 2020, pp. 142-150. [Online] Available at: doi.org/10.13128/sdt-12330 [Accessed 22 March 2024].
- Butera, F. M. (2021), *Affrontare la Complessità – Per governare la transizione ecologica*, Edizioni Ambiente, Milano.
- Carrosio, G. (2019), *I margini al centro – L’Italia delle aree interne tra fragilità e innovazione*, Donzelli Editore, Roma.
- Comune di Taranta Peligna (2015), *Piano di Azione per l’Energia Sostenibile*. [Online] Available at: mycovenant.eumayors.eu/docs/seap/1205_1349432756.pdf [Accessed 22 March 2024].
- De Rossi, A. (ed.) (2018), *Riabitare l’Italia – Le aree interne tra abbandoni e riconquiste*, Donzelli Editore, Roma.
- Di Dio, S., Inzerillo, B., Monterosso, F. and Russo, D. (2022), “Design e transizione digitale – Nuove sfide design-driven per l’innovazione tecnico-sociale | Design and digital transition – New design-driven challenges for techno-social innovation”, in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 12, pp. 212-225. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/12192022 [Accessed 22 March 2024].
- Duong, L. N. K., Wang, M. and Radics, R. I. (2021), “Understanding Rural Supply Chain Resilience – A Synthesis from the Literature”, in *International Journal of Sociotechnology and Knowledge Development*, vol. 13, issue 1, pp. 8-21. [Online] Available at: doi.org/10.4018/IJSKD.2021010102 [Accessed 22 March 2024].
- Ellen MacArthur Foundation (2015), *Growth within – A circular economy vision for a competitive Europe*. [Online] Available at: unfccc.int/sites/default/files/resource/Circular%20economy%203.pdf [Accessed 22 March 2024].
- European Commission (2020), *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – A New Circular Economy Action Plan for a Cleaner and More Competitive Europe*, document 52020DC0098, 98 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2020%3A98%3AFIN [Accessed 22 March 2024].
- European Commission (2019), *Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – The European Green Deal*, document 52019DC0640, 640 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN [Accessed 22 March 2024].
- Ferrara, M. and Squatrito, A. (2022), “L’innovazione design-driven dei materiali circolari a base biologica – Strategie e competenze per la progettazione | Design-driven innovation of bio-based circular materials – Design strategies and skills”, in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 11, pp. 288-299. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/11262022 [Accessed 22 March 2024].
- Frosch, R. A. (1992), “Industrial Ecology – A Philosophical Introduction”, in *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 89, issue 3, pp. 800-803. [Online] Available at: jstor.org/stable/2358382 [Accessed 22 March 2024].
- Gaddi, R. and Mastrodonardo, L. (2023), “L’energia delle aree interne – Un approccio sistemico a Taranta Peligna | The energy of internal areas – A systemic approach in Taranta Peligna”, in *Techné | Journal of Technology for Architecture and Environment*, vol. 26, pp. 142-150. [Online] Available at: doi.org/10.36253/techné-14474 [Accessed 22 March 2024].
- Irwin, T. (2019), “The emerging transition design approach”, in *Cuaderno | Cuadernos del Centro de Estudios en Diseño y Comunicación (Ensayos)*, vol. 73, pp. 149-181. [Online] Available at: doi.org/10.18682/cdc.vi73.1043 [Accessed 22 March 2024].
- Klepp, I. G. and Tobiasson, T. S. (eds) (2022), *Local, Slow and Sustainable Fashion – Wool as a Fabric for Change*, Springer International Publishing. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-030-88300-3 [Accessed 22 March 2024].
- Magnaghi, A. (2020), *Il principio territoriale*, Bollati Boringhieri, Torino.
- MASE – Ministero dell’Ambiente e della Sicurezza Energetica (2023), “Decreto n. 414 del 7 dicembre 2023 – Individuazione di una tariffa incentivante per impianti a fonti rinnovabili inseriti in comunità energetiche rinnovabili e nelle configurazioni di autoconsumo singolo a distanza e collettivo, in attuazione del decreto legislativo 8 novembre 2021, n.199 e in attuazione della misura appartenente alla Missione 2, Componente del 2, Investimento 1.2 del PNRR (24A00671)”, in *Gazzetta Ufficiale*, Serie Generale n. 31 del 07/02/2024. [Online] Available at: gazzettaufficiale.it/eli/id/2024/02/07/24A00671/sg#:~:text=414%20del%207%20dicembre%202023,legislativo%208%20novembre%202021%2C%20 [Accessed 18 March 2024].
- Matlhoko, K. S., Vermaas, J. F., Cronjé, N. and van der Merwe, S. (2023), “Assessing the effectiveness of traditional wool scouring for small-scale farmers in South Africa – A study on detergents and scouring time”, in *Research Journal of Textile and Apparel*, vol. Ahead-of-print, No. Ahead-of-print, pp. 1-21. [Online] Available at: doi.org/10.1108/RJTA-02-2023-0017 [Accessed 22 March 2024].
- Menato, S., Innocenti, P., Fontana, A., Longhi, R., Canetta, L. and Sorlini, M. (2015), “An integrative approach improves sustainability impacts of innovation – An empirical study”, in *2015 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation | International Technology Management Conference (ICE/ITMC)*, pp. 1-9. [Online] Available at: doi.org/10.1109/ICE.2015.7438678 [Accessed 22 March 2024].
- Moberg, E., Molin, E., Källmark, L. and Martin, M. (2023), *Sustainability Assessment of Swedish Wool*, Report E0052, IVL Swedish Environmental Research Institute. [Online] Available at: doi.org/10.13140/RG.2.2.16465.30560 [Accessed 22 April 2024].
- Parwita, G. B. S., Arsawan, I. W. E., Koval, V., Hrinchenko, R., Bogdanova, N. and Tamošiūnienė, R. (2021), “Organizational innovation capability – Integrating human resource management practice, knowledge management and individual creativity”, in *Intellectual Economics*, vol. 15, issue 2, pp. 22-45. [Online] Available at: vb.vgtu.lt/object/elaba:117139129/ [Accessed 22 March 2024].
- Porter, M. E. (1998), “Clusters and the New Economics of Competition”, in *Harvard Business Review*, vol. 76, issue 6, pp. 77-90.
- Sanua, M., Simboli, A. and Taddeo, R. (2020), “Rilocalizzazione di attività produttive su un territorio – Analisi preliminare di sostenibilità di una filiera lana-carne ovina”, in Esposito, B., Malandrino, O., Sessa, M. R. and Sica, D. (eds), *Atti del XXIX Congresso nazionale di Scienze Merceologiche | Le scienze merceologiche nell’era 4.0, Salerno, 13-14 Febbraio 2020*, FrancoAngeli, Milano, pp. 647-655. [Online] Available at: series.francoangeli.it/index.php/oa/catalog/book/554 [Accessed 22 March 2024].
- Teti, V. (2022), *Il senso dei luoghi – Memoria e storia dei paesi abbandonati*, Donzelli Editore, Roma.
- The European Parliament and the Council (2009), *Regulation (EC) No 1069/2009 of the European Parliament and of the Council of 21 October 2009 laying down health rules as regards animal by-products and derived products not intended for human consumption and repealing Regulation (EC) No 1774/2002 (Animal by-products Regulation)*, document 32009R1069. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/eli/reg/2009/1069/oj/eng [Accessed 22 March 2024].
- Vezzoli, C., Ceschin, F. and Diehl, J. C. (2021), “Product-Service Systems Development for Sustainability – A New Understanding”, in Vezzoli, C., Garcia Parra, B. and Kohtala, C. (eds), *Designing Sustainability for All – The Design of Sustainable Product-Service Systems Applied to Distributed Economies*, Springer, Cham, pp. 1-21. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-030-66300-1 [Accessed 22 March 2024].
- Wenger, E. (1998), *Communities of Practice – Learning, Meaning, and Identity*, Cambridge University Press.
- Wiedemann, S., Biggs, L., Nebel, B., Bauch, K., Laitala, K., Klepp, I. G., Swan, P. G. and Watson, K. (2020), “Environmental impacts associated with the production, use, and end-of-life of a woollen garment”, in *International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 25, pp. 1486-1499. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s11367-020-01766-0 [Accessed 22 March 2024].

