

CONTENT

CESARE SPOSITO (EDITORIAL)	<i>Riflessioni e traiettorie di ricerca interdisciplinari sulla transizione digitale</i> Reflections and trajectories for interdisciplinary research on the digital transition	2
SERGIO PONE	<i>Maker: il ritorno dei costruttori. Una possibile transizione digitale per l'Architettura</i> Maker: the return of the builders. A possible digital transition for Architecture	14
THEO ZAFFAGNINI, OTELLO PALMINI	<i>Retrospective e prospettive sul rapporto tra progetto, tecnologia e neocibernetica</i> Past and future of the connection between project, technology and neocybernetics	24
ADRIANO MAGLIOCCO, MARIA CANEPAI	<i>Cruscotti a servizio della governance. Monitoraggio di indicatori di prestazione e indicatori aggregati</i> Governance dashboards. Monitoring of key performance and aggregate indicators	36
MICKEAL MILOCCO BORLINI, CHRISTINA CONTI	<i>Conoscenza e rilevamento smart per una città accessibile. Sperimentare sul territorio del Friuli Venezia Giulia</i> Knowledge and smart sensing for an accessible city. Experimenting on the territory of Friuli Venezia Giulia	46
GIORGIO DALL'OSSO, MARTINA D'ALESSANDRO VALERIA MELAPPIONI	<i>Interattività spaziali. Sensorialità e progetto del dato digitale nello spazio</i> Spatial interactivity. Sensoriality and design of digital data in the space	58
BIANCA ANDALORO, MARTIJN DE WAAL FRANK SUURENBROEK	<i>Lo spazio pubblico adattivo. Esplorare la transizione digitale per il benessere sociale e ambientale</i> Adaptive public spaces. Exploring digital transition for social and environmental benefit	68
MICHELA BAROSIO, ROSSELLA GUGLIOTTA	<i>Dai numeri alle forme. La transizione digitale nei processi morfogenetici</i> From numbers to forms. The digital turn in morphogenic processes	76
MARIA ANTONIETTA ESPOSITO, FILIPPO BOSI CATERINA FERRARO	<i>Giocare seriamente per crescere digitali. Ridurre gli sprechi con il Lean mindset</i> Serious gaming for digital growth. Reducing waste through the Lean mindset	86
THEO ZAFFAGNINI, LUCA MORGANTI	<i>Data-driven LCA per l'innovazione industriale green delle facciate continue customizzate</i> Data-driven LCA for green industrial innovation of custom curtain walls	94
FABRIZIO TUCCI, VALERIA CECAFOSSO PAOLA ALTAMURA, MARCO GIAMPAOLETTI	<i>Simulazione e modellazione per l'adattamento e la mitigazione climatica. Esperienze di riqualificazione ambientale a Roma</i> Simulation and modelling for climate adaptation and mitigation. Experiences of environmental renovation in Rome	106
PAOLA DE JOANNA, ELISABETTA BRONZINO VIRGINIA LUSI	<i>Resilienza e circolarità nel progetto edilizio sostenibile. Strumenti di valutazione integrata preliminare</i> Resilience and circularity in sustainable building design. Integrated tools for pre-intervention assessment	122
JACOPO GASPARI, LIA MARCHI CARLOTTA OBEROSLER, ERNESTO ANTONINI	<i>Strumenti di monitoraggio per abitare il risparmio energetico nell'edilizia sociale</i> Monitoring tools as energy saving enablers in social housing context	136
GIOVANNA A. MASSARI, AMBRA BARBINI ELENA BERNARDINI, OSCAR ROMAN	<i>Riqualificazione energetica dell'edilizia esistente. Modellazione e gestione geometrico-informativa</i> Energy retrofitting of existing buildings. Geometric-informative modelling and management	146
ROSA ROMANO, ELISA BELARDI PAOLA GALLO, DARIO LUIGI DISTEFANO	<i>Sistemi costruttivi low-tech 4.0. Innovazione di prodotto-processo BIM-based per la prefabbricazione in cartone ondulato</i> 4.0 low-tech building systems. BIM-based product-process innovation for corrugated cardboard prefabrication	158
MARIO CLAUDIO DEJACO, CHIARA SCANAGATTA ANTONINO MANNINO, MASSIMILIANO CONDOTTA	<i>Transizione digitale per il facility management. BIM, CMMS e manutenzione predittiva</i> Digital transition in facility management. BIM, CMMS and diagnostic maintenance	168
ELISABETTA DORIA	<i>L'automazione del censimento tecnologico. Il centro storico di Betlemme</i> Automation of urban technological census. The historical centre of Bethlehem	178
GIORGIA TUCCI, CARLO RATTI	<i>La tecnologia come abilitatore di un nuovo ecosistema urbano responsivo. Intervista a Carlo Ratti (CRA Studio)</i> Technology as an enabler of a new ecosystem responsive urbanism. Interview with Carlo Ratti (CRA Studio)	190
MARIO BISSON, STEFANIA PALMIERI ALESSANDRO IANNELLO, LUCA BOTTA	<i>Transition product design. Una proposta di framework per un approccio olistico alla progettazione sistemica</i> Transition product design. A framework proposal for a holistic approach to systemic design	202
SALVATORE DI DIO, BENEDETTO INZERILLO FRANCESCO MONTEROSSO, DARIO RUSSO	<i>Design e transizione digitale. Nuove sfide design-driven per l'innovazione tecno-sociale</i> Design and digital transition. New design-driven challenges for techno-social innovation	212
NICCOLÒ CASIDDU, FRANCESCO BURLANDO ISABELLA NEVOSO ET ALII	<i>Beyond personas. Il Machine Learning per personalizzare il progetto</i> Beyond personas. Machine learning to personalise the project	226
DAVIDE CRIPPA, MASSIMILIANO CASON VILLA BARBARA DI PRETE, LUCIA RATTI ET ALII	<i>Verso un progetto circolare, tra architettura e allestimento. Piattaforme digitali per il riuso</i> Towards a circular project, between architecture and exhibition design. Digital platforms for reuse practices	234
DAVIDE BRUNO, FELICE D'ALESSANDRO	<i>Piattaforme digitali interconnesse e integrate per il sistema universitario</i> Networked and integrated digital platforms for the university system	246
GABRIELE GORETTI, MARGHERITA TUFARELLI QIAN XIAOBO	<i>L'archivio digitale per i processi di alto artigianato. Ricerche a confronto in Italia e Cina</i> Digital archive for high-end craftsmanship processes. Comparing research paths in Italy and China	262
FABRIZIO BRACCO, MARIA C. MOROZZO DELLA ROCCA FEDERICA DELPRINO, SILVIA PREGAGLIA	<i>Apprendimento tramite simulazione e tool digitali. Una sperimentazione per la Farmacia dei Servizi</i> Simulation-based learning and digital tools. A trial for Pharmacy Services	270
BARBARA DEL CURTO, LIA SOSSINI ROMINA SANTI, FLAVIA PAPILE	<i>Percezione e plastiche sostenibili. Un tool digitale per gestire estetica e sostenibilità</i> Perception and sustainable plastics. A digital tool to manage aesthetics and sustainability	280

12

International Journal of Architecture Art and Design

12 | 2022

AGATHÓN | INNOVABILITY | TRANSIZIONE DIGITALE | INNOVABILITY | DIGITAL TRANSITION

INNOVABILITY
TRANSIZIONE DIGITALE

INNOVABILITY
DIGITAL TRANSITION

DEMETRA
CE.RI.MED.
CENTRO DOCUMENTAZIONE E
RICERCA EURO-MEDITERRANEA



PALERMO
UNIVERSITY
PRESS

ISSN online
2532-683X

ISSN print 2464-9309



AGATHÓN

AGATHÓN

12
2022

AGATHÓN

International Journal
of Architecture, Art and Design

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

Scientific Directors

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

Managing Director

MICAELA MARIA SPOSITO

International Scientific Committee

ALFONSO ACOCCELLA (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), VICENTE GUALLART (IAAC – Institute for Advanced Architecture of Catalonia, Spain), FRANCESCO JAVIER GALLEGRO ROCA (University of Granada, Spain), PIERFRANCO GALLIANI (Polytechnic University of Milano, Italy), CRISTIANA MAZZONI (Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Paris-Belleville, France), JAVIER GARCÍA-GUTIÉRREZ MOSTEIRO (Polytechnic University of Madrid, Spain), MARIA LUISA GERMANÀ (University of Palermo, Italy), 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), IN-HEE LEE (Pusan National University, South Korea), MARIO LOSASSO ('Federico II' University of Napoli, Italy), MARIA TERESA LUCARELLI ('Mediterranea' University of Reggio Calabria, Italy), RENATO TEOFILO GIUSEPPE MORGANTI (University of L'Aquila, Italy), STEFANO FRANCESCO MUSSO (University of Genova, Italy), OLIMPIA NIGLIO (University of Pavia, Italy), LAURA RICCI ('Sapienza' University of Roma, Italy), ANDREA ROLANDO (Polytechnic University of Milano, Italy), MARCO ROSARIO NOBILE (University of Palermo, Italy), ROBERTO PIETROFORTE (Worcester Polytechnic Institute, USA), CARMINE PISCOPO ('Federico II' University of Napoli, Italy), PAOLO PORTOGHESI ('Sapienza' University of Roma, Italy), PATRIZIA RANZO ('Luigi Vanvitelli' University of Napoli, Italy), MOSÈ RICCI (University of Trento, Italy), DOMINIQUE ROUIL-LARD (National School of Architecture Paris Malaquais, France), 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 (DEMETRA Ce.Ri.Med., 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 (ZHAW – School of Life Sciences and Facility Management, Switzerland), 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 ANTONÍO JANEIRO (University of Lisbon, Portugal), MASSIMO LAURIA ('Mediterranea' University of Reggio Calabria, Italy), MASSIMILIANO LO TURCO (Polytechnic University of Torino, 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 (Epoka University 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 RONSIIVALLE (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), 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

Promoter

DEMETRA 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. 12 è stato stampato nel Dicembre 2022 da

Issue 12 was printed in December 2022 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

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 DEMETRA 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 A Class journals for area 08 and sectors 08C1, 08D1, 08E1 and 08E2 starting from volume n° 1, June 2017.



Quando nel 1984 il rapporto Brundtland proponeva la necessità di una nuova sostenibilità dello sviluppo per l'Umanità era chiaro che il termine di riferimento era la 'teknè', cioè la capacità di elaborazione da parte dell'Uomo di elementi presenti sul Pianeta che avrebbero potuto 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, ormai 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.

Nell'ambito delle scienze economiche e sociali si è diffuso 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', come se queste fossero due istanze opposte e contrastanti: al di là del termine impiegato, ancor di più in tempo di pandemia con il suo impatto economico e sociale, 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.

'La trasformazione verde e quella digitale sono sfide indissociabili', ha affermato Ursula von der Leyen, nel suo discorso di investitura come Presidente della Commissione Europea nel 2019. In tal senso l'European Green Deal, la Next Generation EU e il New European Bauhaus, così come gli altri Piani nazionali (ad esempio il PNRR in Italia), 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, la tecnologia ma anche la filosofia, l'antropologia, l'ecologia e l'economia, declinate attraverso i tanti aggettivi specialistici che ne definiscono ambiti sempre più circoscritti, eppur più aperti a logiche di transdisciplinarietà, in una sorta di specializzazione delle discipline e del linguaggio richiamando nomi come Bateson, Commoner, 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 (Solis, 2016), l'innovazione antropocentrica trova la sua collocazione ideale, si espande e si evolve tralasciando 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, 2022). 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 è una delle sfide del nostro secolo poiché, se da un lato la Global and Sustainability Initiative (GESI, 2021) evidenzia 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' (Caffo, 2021). Ecco allora che, affinché il nuovo paradigma 'innovability' (con la sua doppia 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 ma, allo stesso tempo, appare essenziale operare per costruire e alimentare un rapporto di complementarità strategica tra ecologia e digitale, un'osmosi bidirezionale di approcci, avanzamenti, sperimentazioni e risultati all'interno di una visione di progresso condivisa e di obiettivi comuni.

Alla luce delle superiori premesse il numero 12 di AGATHÓN raccoglie saggi, studi, ricerche e progetti sul tema Innovability[®] | Transizione Digitale per indagare sulla trasformazione pervasiva e diffusa in atto che unisce dicotomie (analogico e digitale), esalta ossimori (intelligenza artificiale), realizza paradossi (materialità dell'intangibile) coinvolgendo, indifferentemente, l'architettura, le scienze umane e sociali, l'antropologia, la sociologia, l'ecologia, la biologia, le scienze fisico-matematiche e le neuroscienze con impatti che – visibili già oggi e accelerati in parte dalla condizione straordinaria di emergenza sanitaria mondiale – si renderanno ancor più evidenti a medio e lungo termine. Una trasformazione certamente 'digitale', che studiosi come Floridi (2020) e Galimberti (2020), ma anche Haraway

(2018), Searle (2017) e Chomsky (2011), hanno posto su un piano innanzitutto ontologico ed epistemologico in quanto coinvolge l'essenza delle 'cose', il modo con cui le definiamo, il mondo che ci circonda e in particolare la nostra relazione con gli elementi che lo costituiscono.

A poco più di cinquant'anni dalla mostra *Cybernetic Serendipity* (1968) tenutasi presso l'Institute of Contemporary Arts di Londra 1968 il digitale ha assunto caratteri di pervasività in continuo divenire, assumendo il ruolo di 'potente abilitatore', reticolo di componenti umani e tecnologici collegati e interconnessi (Kelly, 2010). La 'transizione digitale', secondo una recente ricerca Deloitte si sta manifestando attraverso un efficientamento dei processi produttivi e una crescente adozione di comportamenti virtuosi – l'impegno nel riciclaggio/compostaggio (68%), la riduzione degli sprechi energetici e del consumo di risorse (54%), la scelta verso mezzi di trasporto a basso impatto ambientale (36%), una maggiore attenzione all'efficientamento energetico delle abitazioni (36%) – condizioni che, nel creare nuovo valore, delineano altrettanto nuovi scenari di sviluppo e sostenibilità accompagnando di fatto la transizione ecologica.

Tuttavia oltre a consentire infinite potenzialità l'innovazione digitale reca con sé diverse criticità. Bit, algoritmi e dati, seppur riescano a rispondere meglio alla necessità di specifici progetti in una società iperconnessa, se non adeguatamente utilizzati possono produrre rappresentazioni distorte e stereotipate della realtà. Molti ambiti di ricerca sono caratterizzati dal fenomeno della datafication, un insieme infinito di informazioni elaborato da sistemi di Machine Learning e Intelligenza Artificiale. Questi sistemi sono capaci di apprendere in autonomia i processi e le dinamiche urbane e quindi favorire un miglioramento esponenziale delle 'performance' dei processi urbani, con risposte in tempo reale alle criticità presenti sul territorio, a partire dalle segnalazioni dirette e indirette (attive e passive) degli utenti. Diversi i rischi da tenere sotto controllo: la riduzione del potere decisionale dell'utente e la definizione di soluzioni 'conformi' che poco si sposano con l'unicità di ogni architettura, luogo e persona. Un approccio data-driven tout-court può anche rischiare di distogliere l'attenzione dall'obiettivo più alto che per l'innovazione è costruire una società più giusta ed equa nella quale le persone sono al centro del progresso tecnologico: in qualunque modo si realizzi l'innovazione deve favorire un miglioramento della qualità della vita e pertanto anche quella nuda e cruda deve avere un'impronta sociale ed etica.

In quest'ottica è da auspicare un rinnovato equilibrio tra tecnologia e uomo, un nuovo 'umanesimo digitale' nel quale la dimensione antropologica della tecnologia favorisca l'innovazione tecno-digisociale superando l'attuale dimensione avanguardista in favore di una strutturata e sistemica. Quando sperimentazioni virtuose come quelle di Massimo Moretti (che tramite la stampante 3D WASP propone un'abitazione autosufficiente ed ecologica a km zero), di Salvatore Iaconesi e Oriana Persico (grazie ai quali una IA addestrata dalla comunità aiuta a risolvere i problemi dello specifico contesto territoriale) e di Illac Diaz (ideatore e promotore nelle Filippine di *Liter of Light*, un progetto tecnico scalabile/replicabile che rende 'accessibile' l'illuminazione e sociale/generativo basato sulla formazione e avviamento al lavoro) diventeranno prassi diffusa per sostenere lo sviluppo di comunità locali reticolari, 'ibride, open source e ben informate' (Di Dio et alii, 2022), le persone saranno parte di una rete attiva in un nuovo modello di economia rigenerativo e ridistributivo (Raworth, 2017). Si potranno instaurare così relazioni con entità differenti (natura, istituzioni, artefatti, etc.) atte ad assumere il ruolo di 'protagoniste nel prendersi cura del mondo' (Floridi, 2020).

Attraverso il digitale altre relazioni possono aprire nuove frontiere nei modi di abitare e trasformare le città. La relazione tra tessuto costruito e sociale si manifesta prevalentemente negli spazi compresi tra gli edifici e dunque nello spazio pubblico o collettivo, a cui è attribuibile un ruolo cruciale nel definire senso di identità/appartenenza o di estraneità di una comunità locale. Ma il costruito non riguarda solo il tangibile e il visibile poiché è continuamente arricchito da una varietà complessa di elementi immateriali e digitali che permettono di ottenere benefici, insieme sociali e ambientali. L'estensione delle infrastrutture digitali allo spazio reale richiede però una nuova riflessione: non è più da chiedersi come utilizzare il digitale per acquisire e gestire dati ma come rendere l'informazione un driver per conformare spazi, 'non più addizionati ma integrati', per instaurare un equilibrio dinamico e inedito capace di rispondere alle esigenze degli utenti che lo abitano, superando quella tendenza dei progetti a rendere manifesti dati georeferenziati qualitativi e quantitativi senza valorizzare le caratteristiche spaziali del luogo e l'integrazione tra utenti, dati e spazio.

Sulla scia dei molteplici casi studio che esprimono la potenzialità di uno spazio con i dati da/in esso generati – e a cui fanno riferimento categorie di progetto come quelle del 'digital placemaking', 'digital wayfinding' e 'digital sensemaking' – prende corpo il paradigma della 'interattività spaziale' tra il mondo fisico e digitale dell'architettura: superando l'impiego convenzionale delle tecnologie digitali per dar vita a mondi paralleli e immersivi, l'inter-spazialità sposta l'enfasi della ricerca 'sull'esperienza' dell'utente poiché i dati (qualitativi e quantitativi) entrano a far parte del campo percettivo acquisendo qualità che contribuiscono a definire l'identità dello spazio stesso (Dall'Osso et alii, 2022). La commistione tra fisico e digitale in una logica di interattività favorisce anche l'implementazione, alle diverse scale del progetto, di approcci trasformativi 'dinamici' legati alla inter-scalarità, multi-materialità e multi-temporalità che, attraverso la riconfigurazione fisica dello spazio, possono fornire risposte a esigenze eterogenee, oltre che degli utenti anche di resilienza nei confronti di fattori di stress ambientali e sociali, e più in generale di una digital innovability. In tal senso si segnala la ricerca *Adaptive Architecture for Resilience* (Biancaloro et alii, 2022) nella quale la centralità delle componenti digitale e multiscale dell'approccio adattivo caratterizza il progetto speculativo di una doppia riconfigurazione fisica di una piazza olandese, al fine di rispondere sia alle esigenze dettate dalle misure di prevenzione della pandemia sia dal perpetuarsi di condizioni meteorologiche locali avverse.

Le tecnologie digitali ci offrono strumenti utili a supportare anche la governance della città contemporanea, sempre più indirizzata a realizzare smart cities raccogliendo, elaborando e integrando grandi quantità di dati per comprendere i fenomeni urbani. UAV (Unmanned Aerial Vehicle), sensori e IoT, insieme alle tecnologie di post-produzione per la generazione di gemelli digitali, supportano metodi di monitoraggio innovativi che riducono la presenza degli operatori sul campo in favore di una maggiore sicurezza sul lavoro e ottimizzazione dei costi di gestione e manutenzione. Ne è un esempio la ricerca sull'automazione del censimento tecnologico urbano dal titolo '3D Bethlehem – Management and control of urban growth for the development of Heritage and Improvement of life in the city of Bethlehem', cofinanziata da AICS e coordinata dal Dipartimento di Ingegneria Civile e Architettura dell'Università di Pavia (Doria, 2022), che propone attraverso una infrastruttura cloud scalabile, algoritmi addestrati e immagini georeferenziate un protocollo di identificazione di elementi ricorrenti: il fine è monitorarli nel tempo e supportare le fasi di analisi e decisionale.

Per monitorare il livello di attuazione di politiche urbane e azioni mirate a realizzare gli obiettivi di sviluppo sostenibile delle Nazioni Unite, descrivendo in tempo reale aspetti significativi della qualità ambientale, sociale ed economica di uno specifico ambito socio-spaziale, negli ultimi anni sono stati messi appunto i 'cruscotti digitali' (digital dashboards), un'interfaccia interattiva supportata da una piattaforma che combina grafici e mappe di tendenza, analisi spaziale e visualizzazione con strumenti di business intelligence consolidati. Se i primi 'cruscotti' utilizzavano indicatori 'singoli' (generalmente di tipo quantitativo) che per loro natura sono oggettivi e indipendenti da influenze esterne, tracciabili nel tempo e verificabili e consentono raramente una interpretazione di fenomeni più complessi, le più recenti sperimentazioni impiegano indicatori 'aggregati', più facili da comprendere per gli utenti (PA, imprese, cittadini) ma più suscettibili di interpretazione.

Al fine di superare tale criticità, sviluppando un protocollo condiviso e una metodologia trasparente di impronta human-centred, sono state condotte le sperimentazioni del DataLab – promossa dalle Città metropolitane di Genova e Milano con il Dipartimento di Architettura e Design di Genova e Colouree Srl (Magliocco and Canepa, 2022) – che impiega uno storytelling di dati in cui si esplicita la pesatura dei singoli indicatori e il criterio di aggregazione e del Comune di Udine con il Dipartimento Politecnico di Ingegneria e Architettura dell'Università di Udine sulla pianificazione dell'accessibilità ambientale dei centri urbani (PEBA) con la quale, attraverso l'impiego di ICT e l'interazione degli 'utenti', si restituisce un quadro esaustivo dei servizi al cittadino e dei gradi di accessibilità delle singole aree urbane, evidenziando e geolocalizzando le singole criticità al fine di poter valutare azioni mirate per interventi strutturali e di manutenzione, d'arredo o allestimento temporaneo prestazionalmente inaccessibili (Milocco Borlini and Conti, 2022).

La transizione digitale ha messo a disposizione del progetto urbano e architettonico sofisticati strumenti parametrici morfogenetici prevalentemente per la generazione di forme dalle geometrie non euclidee, la realizzazione di componenti edilizi e il contenimento dei consumi energetici. Se in termini di linguaggio architettonico i concetti di innovazione e sostenibilità sono spesso visti come antitetici poiché l'innovazione è assimilata all'uso di forme avveniristiche (spesso tutt'altro che sostenibili sotto il profilo ambientale) e l'approccio sostenibile sembra orientarsi verso materiali e soluzioni tecniche più tradizionali e locali, dal punto di vista del processo progettuale il nuovo paradigma della innovability[®] apre interessanti prospettive nella gestione delle trasformazioni urbane e nel contenimento dei consumi energetici dei manufatti. Nell'ambito dell'attività di ricerca della Joint Research Unit Transitional Morphologies, riferibile al Politecnico di Torino e alla Southeast University Nanjing (Barosio and Gugliotta, 2022), gli strumenti parametrici sono impiegati per gestire le trasformazioni urbane sulla base di parametri formali (e non meramente quantitativi) derivati dall'analisi morfologica della città esistente e relativi al 'tipo' come sintesi della forma, al 'diagramma' come esplicitazione delle relazioni tra gli elementi formali e al 'modello' come base di dati di riferimento. Questo tipo di approccio produce una varietà di configurazioni definite all'interno di quello che DeLanda (2016) chiama 'spazio delle possibilità', demandando al progettista la soluzione più appropriata.

Gli strumenti digitali possono inoltre contribuire alla riqualificazione energetica di un edificio esistente ottimizzando la progettazione e la produzione ad esempio di componenti tecnologici di rivestimento prefabbricati, modulari e con finiture personalizzabili, secondo la soluzione avanzata da Energiesprong i cui pannelli con telaio in legno sono adeguatamente isolati e attrezzabili con serramenti a elevata efficienza energetica e con un nuovo sistema impiantistico. In tal senso una buona pratica è rappresentata dal programma di ricerca Renew-Wall nel quale, per gestire la complessità dell'intero sistema, è stata sviluppata una soluzione digitale a supporto di un flusso di lavoro integrato che facilitasse la modellazione geometrica e informativa in fase di progetto, la replicabilità e adattabilità a diverse configurazioni e la trasferibilità delle informazioni utili per la produzione al sistema CAD-CAM (Massari et alii, 2022).

Una delle priorità delle politiche europee e nazionali, anche in relazione al caro energia, è supportare la transizione energetica del settore residenziale mediante politiche e strumenti specifici. Tra le diverse traiettorie di azione è da segnalare quella più diffusa che mira a potenziare gli interventi tecnici/tecnologici sul patrimonio edilizio; a questa fa da contraltare quella, sempre più accreditata presso la comunità scientifica, che attribuisce rilevanza al binomio utente/strumenti intelligenti: attraverso il monitoraggio energetico esso può favorire il miglioramento del comfort indoor, una sensibile contrazione della spesa delle famiglie e apprezzabili effetti ambientali su larga scala, sebbene il cambiamento comportamentale del singolo individuo determini una quota modesta di riduzione dei consumi. In quest'ottica è da leggere la sperimentazione condotta all'interno di una più ampia collaborazione tra l'Azienda Casa Emilia-Romagna di Bologna e l'Università di Bologna volta a valutare i reali benefici che il binomio può generare in relazione alla capacità degli utenti di comprendere i reali vantaggi, di interagire attivamente con le tecnologie e di reagire alle informazioni disponibili (Gaspari et alii, 2022).

Le tecnologie digitali supportano il progetto fornendo utili strumenti anche per strutturare matrici e modelli predittivi multiscalarari, multicriteriali e replicabili di carattere tecnologico-ambientale al fine di rispondere alle ormai imprescindibili istanze della tutela ambientale e dell'efficienza energetica; esse aprono nuove frontiere agli studi sulle tecnologie per il controllo del processo edilizio soprattutto in relazione a due approcci, quello che mira alla resilienza in risposta alle sfide di adattamento e mitigazione dei cambiamenti climatici e quello di impronta circolare in un'ottica di salvaguardia delle risorse non rinnovabili.

In quest'ottica sono da leggere due ricerche pubblicate nel volume. La prima (Tucci et alii, 2022) definisce un approccio metodologico-applicativo originale a supporto della fase sperimentale-progettuale nell'ambito della rigenerazione di distretti urbani in termini di adattamento e mitigazione dei cambiamenti climatici con effetti benefici in termini di comfort ambientale negli spazi outdoor, intermedi e indoor e riduzione del fabbisogno energetico e delle emissioni di CO₂; la metodologia, applicata a due casi studio a Roma, sviluppa un set di azioni confrontabili, replicabili e misurabili (in termini di performance e benessere) e consente di valutare strategie e soluzioni bioclimatiche passive attraverso attività di modellazione/simulazione dinamica ex ante/ex post, di cui ne valida l'efficacia attraverso la quantificazione della riduzione delle emissioni di CO₂. Il secondo contributo (De Joanna et alii, 2022) propone due ricerche dottorali in itinere, ma comunque significative, che condividono l'obiettivo comune, già in fase di studio di fattibilità, di individuare criteri e strumenti per il controllo dei fattori di resilienza e circolarità in edilizia come strategia per la mitigazione dell'impatto ambientale; tuttavia esse si fondano su due approcci disciplinari distinti finalizzando gli strumenti elaborati all'applicazione di metodologie differenti: l'una 'agile', valutativa su larga scala, consente agli attori chiave del processo decisionale di operare con un ridotto impiego di risorse in termini di tempi e costi, di avere a disposizione una mappatura del costruito esistente e di implementare banche dati e quadri informativi utili a futuri interventi; l'altra 'parametrica' consente di pre-orientare le scelte progettuali conformemente al contesto di riferimento, superando la tradizionale ed esclusiva attenzione all'efficientamento energetico e integrando anche aspetti economici e sociali per il miglioramento della qualità abitativa, ambientale ed ecosistemica

Un altro importante impatto che le tecnologie digitali possono determinare riguarda la promozione e implementazione di politiche di condivisione delle risorse materiali e immateriali attraverso nuovi dispositivi-piattaforme-servizi sempre più sostenibili. In particolare le piattaforme digitali hanno il potenziale di aprire campi di azione/sviluppo innovativi, sfruttando le possibilità di connessioni a distanza tra dati, beni, saperi e stakeholders, risolvendo inefficienze di sistema, creando nuove opportunità sia di condivisione del know-how tra i diversi campi della conoscenza sia di scambio nella gestione delle risorse materiali e immateriali e strutturando una solida filiera di un riuso trasversale ai diversi settori produttivi. Assume rilevanza ad esempio l'archiviazione e catalogazione del Patrimonio Intangibile dei processi artigianali tradizionali su piattaforme digitali che, acquisendo il ruolo di catalizzatore di processi creativi e organizzativi, concorrono alla costruzione di una memoria sistemizzata e trasmissibile per una più proficua competitività delle PMI e fungono da volano per lo sviluppo di processi di user-experience mirati alla divulgazione e al reinserimento nel contesto del design contemporaneo (Goretti et alii 2022). Non di minore importanza è la messa a punto di piattaforme e applicativi digitali intuitivi, interconnessi, integrati e implementabili per la gestione delle informazioni sulle attività di ricerca e di didattica universitarie che favoriscano la transizione verso un sistema aperto, trasparente, inclusivo e sostenibile nel quale la Comunità accademica riesca a riappropriarsi di un ruolo culturale primario e gli Atenei siano sempre più complementari al modello territoriale di riferimento e in costante relazione di scambio e 'reciproca contaminazione' con il mondo della ricerca e dell'industria (Bruno and D'Alessandro, 2022).

Sviluppo sostenibile e transizione digitale trovano ampio spazio per inedite sinergie soprattutto in alcune discipline del progetto che si interessano alla messa a punto di sistemi integrati per filiere produttive circolari, seppur a velocità diverse: infatti se la progettazione architettonica e urbana lavora da tempo verso l'innovazione dei paradigmi progettuali e costruttivi in senso sostenibile e circolare, il design espositivo tarda a integrare in modalità sistemica questi aspetti nelle proprie strutture creative e gestionali. Tuttavia in entrambi gli ambiti disciplinari esistono sperimentazioni significative e innovative, talvolta già codificate in pratiche replicabili, che restituiscono le potenzialità del digitale per una transizione circolare e sostenibile.

Se le piattaforme in ambito architettonico sono più note (Harvest Map, Restado RE-sign e Madaster, per citarne alcune), quelle nel design dell'allestimento sono poche e poco conosciute perché il sistema museale ha rivolto finora la sua attenzione prevalentemente alle opportunità delle tecnologie digitali in termini principalmente fruitivi, facilitando esperienze interattive e immersive o sfruttando i dati come dimensione sensoriale. Esistono comunque casi virtuosi di iniziativa privata come Materials for the Arts di New York (che raccoglie materiali riutilizzabili da aziende e privati e li mette gratuitamente a disposizione di scuole pubbliche, di agenzie cittadine o di organizzazioni no-profit per la realizzazione di programmi artistici), Spazio META di Milano (che raccoglie, lavora e infine espone i materiali per la vendita al pubblico) e Non Si Butta Via Niente (che favorisce un processo di rigenerazione creativa di manufatti allestitivi, parzialmente o totalmente riutilizzabili, grazie a una piattaforma web di mutua collaborazione). L'analisi incrociata delle buone pratiche citate fa emergere che innovazioni e approcci circolari già integrati nella ricerca e nella pratica di alcuni settori (come quello dell'architettura) potrebbero essere utilmente traslati ad altri meno attenti alle questioni ambientali (come quello del design dell'allestimento), con sinergie possibili nella formazione di una potenziale 'banca dati' universale in cui materiali e componenti sono soggetti a un sistema di tracciabilità per un riutilizzo trasversale in ambiti differenti, e quindi generare più cicli di vita possibili (Crippa et alii, 2022).

È poi da rilevare che la recente emergenza pandemica da Covid-19 ha imposto modifiche e restrizioni in ogni campo delle attività umane, sostituendo la tradizionale modalità in presenza con relazioni a distanza. La sfida che oggi ci troviamo ad affrontare sta nel non abbandonare quanto sperimentato e appreso, ma di metterlo a frutto con un approccio 'phygital' capace di interpretare al meglio il contesto in cui si opera, innescando modalità di interazione ibride, fisiche o virtuali in funzione di esigenze puntuali per dare corpo a una transizione digitale consapevole e duratura. In questo senso sono da apprezzare tre sperimentazioni di cui due 'phygital', sulla formazione universitaria (Bracco et alii, 2022) e sulla percezione dei materiali (Del Curto et alii, 2022), nonché una didattica sull'ottimizzazione dei flussi di lavoro e degli sprechi (Esposito et alii, 2022).

La prima illustra il progetto di ricerca 'Farmacia Virtuale, Competenze Reali' sulla Farmacia dei Servizi avviato da un team interdisciplinare di docenti dell'Università di Genova: nell'ottica dello sviluppo di una didattica integrata fondata sulla digitalizzazione stabile e sui principi dell'Ergonomia Cognitiva e dell'Interaction Design, studente e docente possono personalizzare lo strumento digitale, da un lato superando modalità univoche e ripetitive in favore di un modello adatto a esigenze puntuali, dall'altro stimolando nello studente la capacità di adattamento e di previsione di situazioni specifiche, fondamentali per il professionista nel campo medico. La seconda sperimentazione illustra il progetto SMAPT (Sustainable Materials and Perception Tool) del Politecnico di Milano nel quale si mette a punto una nuova modalità online di interagire e acquisire conoscenza attraverso moodboard di parole chiave e immagini per valutare, secondo i principi del design CMF, il livello di percezione di utenti a distanza delle proprietà estetico-espressive delle plastiche sostenibili. La terza, condotta da docenti dell'Università degli Studi di Firenze con approcci formativi originali, indaga sull'applicazione gamificata dei processi Lean mindset tramite applicativi BIM per aumentare la qualità del processo produttivo e contribuire al raggiungimento degli obiettivi di sostenibilità nel settore delle costruzioni: una simulazione didattica che utilizza i LEGO® come strumento per l'applicazione di due flussi di lavoro, uno tradizionale e uno Lean-oriented, dimostra come adeguate metodologie progettuali abbinate agli strumenti digitali oggi disponibili, consentono di controllare numerosi aspetti del progetto architettonico, di ridurre sprechi di risorse ed errori progettuali o costruttivi, abbattere i tempi di progettazione e operare in termini di gestione della qualità del prodotto finale.

In un momento storico in cui le filiere di produzione edile stanno affrontando una profonda trasformazione in chiave ecologica e digitale per sostenere la competitività di un mercato globale e la resilienza del settore nei confronti delle sfide ambientali e socioeconomiche in atto, gli strumenti digitali permettono di facilitare l'ottimizzazione e la gestione avanzata del progetto, della sua ingegnerizzazione e produzione edilizia e di massimizzarne le prestazioni ambientali. In generale il digitale si configura come una innovazione tecnica e culturale che può favorire la messa a punto di nuovi e affidabili approcci metodologici per interpretare l'ingente mole di dati che esso stesso concorre a rendere disponibili nell'ottica di una migliore gestione del processo edilizio, ma anche per simulare/valutare il comportamento prestazionale e il ciclo di vita del costruito. In aggiunta, il recente sviluppo delle tecnologie digitali ha aperto il campo alla possibilità di trasformare gli impianti per la produzione edilizia prefabbricata in sistemi di Industria 4.0 altamente integrati, controllati ed efficienti sotto il profilo economico e ambientale in luogo di più approcci tradizionali nei quali si assegna centralità al cantiere come luogo privilegiato in cui avviene gran parte delle sequenze realizzative. Tra gli studi sull'argomento si segnala la ricerca CARES, condotta dal Dipartimento di Architettura dell'Università di Firenze e dall'azienda AREA Srl, che sviluppa un modello innovativo scalabile e replicabile di produzione industriale di elementi costruttivi in cartone ondulato basato sulla duplice digitalizzazione prodotto-processo attraverso l'utilizzo di strumenti BIM, finalizzato a ottimizzare il consumo di materiale e ridurre gli scarti di produzione (Romano et alii, 2022). E ancora la proposizione di un workflow per l'integrazione di dati informatici e piattaforme di data management con modelli di valutazione dell'impatto ambientale come il Life Cycle Assessment, al fine di supportare azioni sostenibili sul ciclo di vita di un particolare prodotto industriale, la cellula prefabbricata e customizzata per facciate continue ad alto contenuto tecnologico, una loro verifica in real-time durante l'avanzamento del processo produttivo e una maggiore qualità del progetto finale (Zaffagnini and Morganti, 2022).

Anche la gestione delle fasi d'uso e manutenzione di un manufatto è un aspetto fondamentale nella progettazione di edifici sostenibili e nella ricerca di strategie per la gestione efficiente del costruito in termini di risorse economiche e di materiali. Processi innovativi di Facility Management possono essere attuati attraverso strumenti digitali, ottimizzando consumi e risorse, purché siano previsti fin dalle fasi progettuali sfruttando le potenzialità del BIM e dei 'gemelli digitali' popolati dalle informazioni necessarie sia alla fase costruttiva che a quella gestionale del manufatto. Tuttavia nella pratica l'utilizzo di strumenti BIM nelle operazioni di gestione e manutenzione si scontra con criticità dovute alle numerose variabili che entrano in gioco nelle fasi del ciclo di vita, alla necessità di aggiornare database e integrare software specializzati e alla mancata disponibilità di dati in tempo reale, informazioni tutte necessarie per ottimizzare, e talvolta prolungare, il ciclo di vita dell'edificio, di un componente o di un materiale. Al fine di superare le suddette criticità un team di ricercatori dell'Università di Trento, dello Iuav di Venezia e della Tekser Srl ha messo a punto una strategia integrata, semplificata, user-friendly e cost-effective per la creazione di database CMMS a partire da modelli BIM in grado di supportare approcci predittivi (Dejaco et alii, 2022): nei due casi indagati il modello sperimentale ha consentito di intervenire in maniera tempestiva sul guasto nel 90% dei casi.

I temi affrontati dalle ricerche e dai saggi e pubblicati nel volume dimostrano che le due transizioni ecologica e digitale sono strettamente connesse e rappresentano 'sfide indissociabili' che devono essere affrontate in modo sistemico e secondo logiche aperte alla interdisciplinarietà capaci di supe-

rare gli statuti disciplinari per orientare e favorire una ‘ripresa’ resiliente, sostenibile e inclusiva. Si riconosce inoltre che le due istanze fondanti di questa duplice transizione sono quelle della ‘innovazione’ e della ‘sostenibilità’, l’una a servizio dell’altra per dare nuova funzione alle cose e utilizzare in modo consapevole le risorse non rinnovabili del nostro Pianeta. Per lo scopo il digitale si configura come strumento in grado di avviare processi condivisi altrimenti più lenti da attivare, meno pervasivi e probabilmente meno performanti, mentre l’innovazione digitale può rappresentare il motore di un nuovo paradigma di sviluppo capace di dare soluzioni concrete alla crisi energetica e ambientale sulla base di un meccanismo evolutivo improntato alla sperimentazione nei processi di progettazione.

Un altro elemento che emerge dai testi pubblicati è la necessità di riportare la componente umano-sociale al centro del progetto e della pianificazione urbana, in una simbiosi fra natura e artificio capace di attivare cicli di feedback costanti che consentano di rispondere in tempo reale alle esigenze dell’intero ecosistema, della città e dei cittadini. A raggiungere questa finalità si concentra da tempo lo studio CRA (Carlo Ratti Associati) indagando le sinergie possibili tra naturale e artificiale nell’ambiente costruito e sfruttando le tecnologie digitali come strumento multidisciplinare per fare innovazione nello spazio urbano. Diversi i temi affrontati dallo studio CRA e tra questi quello della decarbonizzazione attraverso il progetto Hot Heart di Helsinki (2021), una enorme struttura capace di produrre 6.000 GWh con pompe di calore ad acqua di mare e di convertire l’energia eolica e solare, offrendo alcontempo agli utenti servizi multifunzionali, attività ricreative e godimento pacifico della natura. Che le ‘sfide indissociabili’ si possano/debbono affrontare alle diverse scale del costruito lo dimostrano anche i progetti di minore dimensione dello studio CRA nei quali si sperimentano strumenti tecnologici che li rendono parte attiva nel cambiamento dell’ecosistema urbano: il Padiglione Living Nature (Milano, 2018) con il giardino a clima controllato e l’installazione Sun&Shade (Dubai, 2017) dotata di specchi in grado di riflettere la luce solare e il calore eccessivi sono emblematici esempi al pari della più grande Jian Mu Tower (Shenzen, 2021), un edificio polifunzionale alto 218 metri che esemplifica il concetto di ‘farmscraper’ nel quale l’intelligenza artificiale di un ‘agronomo virtuale’ gestisce la produzione e l’approvvigionamento alimentare degli utenti della torre (Tucci and Ratti, 2022).

In conclusione si rileva la necessità che la comunità scientifica ampli il dibattito sui nuovi paradigmi progettuali imposti dal digital manufacturing per restituire maggiore centralità nel cantiere a colui che ha pensato l’oggetto e che quindi ne possiede approfonditamente le logiche (Pone, 2022), valutando eventuali compromessi tra le fabbricazioni digitali ‘capital intensive’, costose e realizzate con macchine utensili raffinate e performanti, di cui la Landesgartenschau Exhibition Hall di Stoccarda del 2014 e il Timber Pavilion of the Vidy-Lausanne Theatre del 2017 sono casi emblematici, e le ‘labour intensive,’ che tendono a valorizzare la manodopera e il lavoro collettivo come nel caso del Constructive Geometry Pavilion realizzato presso la Faculdade de Arquitectura da Universidade do Porto nel 2012. Cruciale sarà comunque il ruolo del progettista nella gestione dei processi, poiché allo stesso è demandata la responsabilità di affrontare le sfide del nuovo millennio la cui strada sembra tracciata sulle parole chiave innovazione, sostenibilità, interdisciplinarietà, cultura digitale, bit, intelligenza artificiale, resilienza, adattività, economia circolare, eco-compatibilità, comunità e inclusione sociale.

When the 1984 Brundtland report proposed the need for a new sustainability of development for Humanity, it was clear that the term of reference was ‘tekne’, i.e., Man’s ability to process elements on the Planet that might become resources, though unknown or not employable with the technologies available at the time. There has always been an ongoing confrontation and dialogue between Environment and Technology such that what we now call the (natural) environment is the result of an enduring and profound anthropization of the zoosphere, which has now become a fragile anthroposphere. Within our anthroposphere, unsteadily balancing between the search for artifice and the desire to protect the Planet, the Covid-19 pandemic has shown us – among other things – how the project of sustainable development is a cryptic goal, the contours of which are not indeed known and in which it is not possible to operate merely in conservative terms.

The term ‘innovability’[©] has become increasingly popular in the economic and social sciences, 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 these were opposing and conflicting: regardless of the terminology, even more so in times of a pandemic with its economic and social impact, Humanity promotes one of its prerogatives, i.e., the use of the ‘things’ that nature provides in order to transform them from their primary function (innovation), aware that those resources are not inexhaustible (sustainability). In this forward-looking context, it is necessary to design our best political and system actions to promote the need to innovate through the conscious and effective use of the Planet’s resources.

In her inauguration speech as President of the European Commission in 2019, Ursula von der Leyen stated that green and digital transformations are ‘inseparable challenges’. In this sense, the European Green Deal, the Next Generation EU and the New European Bauhaus, as well as other National Plans (e.g. the Italian PNRR), assume strategic importance both in defining, in a clear and univocal way, the future development trajectories of an ecological, digital, cohesive and resilient Europe, as well as in correcting the main imbalances of the old continent, bringing together – despite the heterogeneous conditions of the Member States – the expectations and demands, of a general, common and shared nature, of citizens and businesses. The fil rouge is that of a ‘transition’ that combines themes and debates simultaneously involving science, technology but also philosophy, anthropology, ecology and economics, declined through the many specialized adjectives that define

their increasingly delimited fields, yet more open to transdisciplinary logic, a kind of speciation of disciplines and language, recalling names such as Bateson, Commoner, Catton and Dunlap, Carpo, Kelly, Solis, Negroponte, as well as Jonas, Morin, Floridi, Caffo.

In this scenario, in which digital anthropology identifies with the term ‘anticipation’, and in the ability to interact with the continuous flow of innovation to build a new digital ecosystem (Solis, 2016), anthropocentric innovation finds its ideal location, expands and evolves by targeting the capacity to place humans and their needs at the centre of new value propositions. This new form of ‘sustainable innovation’ is bound to have social and environmental well-being as joint and simultaneous priorities, such as facilitating an ethical and sustainable transition for the benefit of the entire community (WEF, 2022). The anthropogenic transformation of space is an energy-intensive action that increases the level of entropy, still a long way from systematic and widespread approaches such as ‘cradle to cradle’ or approaches that are respectful of non-renewable resources. Therefore, the theme does not concern disciplinary statutes but rather interdisciplinary and transversal aspects aimed at guiding and fostering a resilient, sustainable and inclusive ‘recovery’.

This complex nature is one of the challenges of our century. On the one hand, the Global and Sustainability Initiative (GESI, 2021) highlights how the ‘green transition’ can ethically steer the opportunities of digital, and the report *The European Double Up* (Accenture, 2021) argues that the ‘digital transition’ is configured as a tool that can initiate shared processes that would otherwise be slower to activate, less pervasive and likely to perform less well; on the other hand, the union of ‘green’ and ‘blue’ hints at a number of potential issues and contradictions (Floridi, 2020) to the point of speculating the impossibility of implementing the ‘ecological transition’ and ‘digital transition’ simultaneously (Caffo, 2021). Hence, in order for the new ‘innovability’ paradigm (with its double meaning of interpretation and declination of possible scientific approaches of research and operation) to find its maximum expression and be effectively implemented, it is necessary to introduce adequate, new (material and immaterial) tools, which are transversal, interscalar and interdisciplinary. At the same time, it appears essential to build and nurture a relationship of strategic complementarity between ecology and digital, a bidirectional osmosis of approaches, advances, experiments and results as part of a vision of shared progress and common goals.

In light of the premises above, issue 12 of AGATHÓN collects essays, studies, research and projects on the topic of Innovability[®] | Digital Transition to investigate the current widespread transformation that unites dichotomies (analogue and digital), enhances oxymorons (artificial intelligence), creates paradoxes (materiality of the intangible), while indiscriminately involving architecture, humanities and social sciences, anthropology, sociology, ecology, biology, physical-mathematical sciences and neurosciences, with impacts that – while already visible today and accelerated in part by the extraordinary global health emergency – will become even more evident in the medium and long term. A ‘digital’ transformation, which academics such as Floridi (2020) and Galimberti (2020), but also Haraway (2018), Searle (2017) and Chomsky (2011), have placed on a primarily ontological and epistemological level insofar as it involves the essence of ‘things,’ the way we define them, the world around us, and in particular our relationship with the elements that constitute it.

Slightly over fifty years after the *Cybernetic Serendipity* (1968) exhibition held at the Institute of Contemporary Arts, London 1968, digital has become pervasive in its ever-evolving characteristics, taking on the role of a ‘powerful enabler’, a network of connected and interconnected human and technological components. The ‘digital transition’, according to a recent Deloitte research, is manifesting through efficient production processes and increasing adoption of virtuous behaviours – the commitment to recycling/composting (68%), the reduction of energy waste and resource consumption (54%), the choice toward environmentally friendly means of transportation (36%), and greater attention to energy efficiency in homes (36%) – conditions that, in creating new value, equally outline new scenarios for development and sustainability, effectively supporting the ecological transition.

However, digital innovation comes with several challenges in addition to enabling endless potential. Bits, algorithms and data, while able to meet the need for specific projects in a hyper-connected society, can produce distorted and stereotypical representations of reality if misused. Many research fields are characterized by datafication, an infinite set of information processed by Machine Learning and Artificial Intelligence systems. These systems can autonomously learn urban processes and dynamics, thus fostering exponential improvement in urban process ‘performance,’ with real-time responses to on-site issues from direct and indirect (active and passive) user reports. Several risks must be kept under control: the reduction of the user’s decision-making power and the definition of ‘compliant’ solutions that do not match the uniqueness of each architecture, place and person. A tout-court data-driven approach may also run the risk of diverting attention from the greater goal, which for innovation is to build a more just and equitable society in which people are at the centre of technological progress: in whatever way it is achieved, innovation must promote an improvement in the quality of life, and therefore even the core of innovation must have a social and ethical footprint.

With this in mind, a renewed balance between technology and man is desirable, a new ‘digital humanism’ in which the anthropological dimension of technology fosters techno-digi-social innovation by overcoming the current avant-garde dimension in favour of a structured and systemic one. When virtuous experiments such as those of Massimo Moretti (who proposes a self-sufficient and ecological zero-kilometre housing model using the WASP 3D printer), Salvatore Iaconesi and Oriana Persico (who envisage a community-trained AI that assists in solving specific issues connected to the territorial context) and Illac Diaz (creator and promoter in the Philippines of *Liter of Light*, a scalable/replicable technical project that makes lighting ‘affordable’ and social/generative based on

education and job placement) will become widespread practice to support the development of reticular, 'hybrid, open source and well-informed' local communities (Di Dio et alii, 2022), people will be part of an active network in a new regenerative and redistributive economic model (Raworth, 2017). In this way, it will be possible to establish relationships with different entities (nature, institutions, artefacts, etc.) capable of assuming the role of 'protagonists in caring for the world' (Floridi, 2020).

Through digital, other relationships can open new frontiers in how cities are inhabited and transformed. The relationship between built and social fabric is mainly manifested in the spaces between the buildings and, therefore, in the public or collective space, to which a crucial role is attributed in defining a sense of identity/belonging or foreignness of a local community. However, the built environment is about more than just the tangible and visible, as it is continually enriched by a complex variety of intangible and digital elements that provide both social and environmental benefits. Nevertheless, the extension of digital infrastructures to real space requires a new reflection. The question is no longer how to use digital to acquire and manage data, but rather how to enable information to become a driver for conforming spaces which are 'no longer additive but integrated'; so a dynamic and unprecedented balance capable of responding to the needs of the users who inhabit can be established, overcoming that tendency of projects to display qualitative and quantitative georeferenced data without enhancing the spatial characteristics of the place and the integration between users, data and space.

In the wake of the multiple case studies expressing the potential of a space with data generated from it/into it – and referred to by design categories such as 'digital placemaking', 'digital wayfinding' and 'digital sensemaking' – the paradigm of 'spatial interactivity' between the physical and digital worlds of architecture takes shape: going beyond the conventional use of digital technologies to create parallel and immersive worlds, interspatiality shifts the emphasis of research 'on the experience' of the user, since (qualitative and quantitative) data become part of the perceptual field, acquiring qualities that contribute in defining the identity of the space itself (Dall'Osso et alii, 2022). The mixture between physical and digital in a logic of interactivity also favours the implementation, at different scales of the project, of transformative 'dynamic' approaches linked to interscalarity, multi-materiality and multi-temporality which, through the physical reconfiguration of space, can provide answers to heterogeneous needs, not only for users but also for resilience to environmental and social stressors, and more generally for digital innovability[®]. Of particular note in this regard is the study Adaptive Architecture for Resilience (Biancaloro et alii, 2022), in which the centrality of the digital and multiscale components of the adaptive approach characterizes the speculative design of a dual physical reconfiguration of a Dutch square in order to respond to both the needs dictated by pandemic prevention measures and the persistence of adverse local weather conditions.

Digital technologies offer helpful tools to support the governance of the contemporary city, increasingly aimed at creating smart cities by collecting, processing and integrating large amounts of data to understand urban phenomena. Unmanned Aerial Vehicle (UAV), sensors and IoT, together with post-production technologies for the generation of digital twins, support innovative monitoring methods that reduce the presence of field operators in favour of increased work safety and optimization of operating and maintenance costs. An example of this is '3D Bethlehem – Management and control of urban growth for the development of Heritage and Improvement of life in the city of Bethlehem', a study on the automation of urban technological census co-funded by AICS and coordinated by the Department of Civil Engineering and Architecture at the University of Pavia (Doria, 2022), which proposes a protocol for identifying recurring elements through a scalable cloud infrastructure, trained algorithms and georeferenced images: the aim is to monitor these elements over time and support the analysis and decision-making phases. Recent years have seen the development of digital dashboards, an interactive interface supported by a platform that combines trend charts and maps, spatial analysis and visualization with established business intelligence tools, to monitor the level of implementation of urban policies and actions aimed at achieving the UN Sustainable Development Goals, through a real-time description of significant aspects of the environmental, social, and economic quality of a specific socio-spatial area. While the earliest 'dashboards' used 'single' (generally quantitative) indicators – that by their nature are objective and independent of external influences, traceable over time and verifiable, and rarely allow for an interpretation of more complex phenomena – the most recent experiments employ 'aggregate' indicators, which can be understood more easily by users (PAs, businesses, citizens) but are more susceptible to interpretation.

In order to overcome this issue, through the development of a shared protocol and a transparent methodology with a human-centred imprint, DataLab experiments were conducted – promoted by the Metropolitan Cities of Genoa and Milan with the Department of Architecture and Design of Genoa and Colouree Srl (Magliocco and Canepa, 2022) – which uses data storytelling explicitly weighing individual indicators and the aggregation criterion, and by the Municipality of Udine with the Dipartimento Politecnico di Ingegneria e Architettura of the University of Udine on the planning of the environmental accessibility of urban centres (PEBA), which returns a comprehensive picture of citizen services and degrees of accessibility of individual urban areas through the use of ICT and 'user' interaction, highlighting and geolocating individual challenges to evaluate targeted actions for structural and maintenance interventions, for furnishings or temporary installations inaccessible performance wise (Milocco Borlini and Conti, 2022).

The digital transition has provided urban and architectural design with sophisticated morphogenetic parametric tools, primarily for the generation of forms from non-Euclidean geometries, the construction of building components, and the containment of energy consumption. In terms of architectural language, the concepts of innovation and sustainability are often seen as antithetical since innovation is associated with the use of futuristic forms (often anything but environmentally sustain-

able) and the sustainable approach seems to lean towards more traditional and local materials and technical solutions; in terms of the design process, the new innovability[®] paradigm opens up interesting perspectives in the management of urban transformations and the containment of energy consumption of buildings. As part of the research activity of the Joint Research Unit Transitional Morphologies, referable to the Politecnico di Torino and the Southeast University Nanjing (Barosio and Gugliotta, 2022), parametric tools are being employed to manage urban transformations based on formal (and not merely quantitative) parameters derived from the morphological analysis of the existing city and related to 'type' as a synthesis of form, to 'diagram' as an explication of the relationships between formal elements, and to 'model' as a baseline for reference data. This type of approach produces a variety of configurations defined within what DeLanda (2016) calls the 'space of possibilities', deferring the most appropriate solution to the designer.

Digital tools can also contribute to the energy redevelopment of an existing building by optimizing the design and production, for example, of prefabricated, modular technological envelope components with customizable finishes, according to the solution proposed by Energiesprong, whose wood-framed panels are suitably insulated and can be equipped with energy-efficient windows and doors and a new plant system. In this regard, a best practice is represented by the Renew-Wall research program, which saw the development of a digital solution to manage the complexity of the entire system, supporting an integrated workflow that would facilitate geometric and informational modelling at the design stage, replicability and adaptability to different configurations, and transferability of production-useful information to the CAD-CAM system (Massari et alii, 2022).

One of the priorities of European and national policies, also in relation to the rising energy cost, is to support the energy transition of the residential sector through specific policies and instruments. Among the various courses of action, it is worth noting that the most widespread one aims to enhance technical/technological interventions on the existing building heritage; this is counterbalanced by another, increasingly accredited by the scientific community, that attributes relevance to the user/smart tool pair: through energy monitoring, it can enhance indoor comfort, a significant reduction in household expenditure and appreciable environmental effects on a large scale, although the behavioural change of the individual results in a modest amount of consumption reduction. The experimentation conducted within a broader collaboration between the Azienda Casa Emilia-Romagna di Bologna (ACER BO) and the University of Bologna, aimed at assessing the actual benefits that the pair mentioned above can generate in relation to the ability of users to understand the concrete advantages, to actively interact with the technologies and to react to the information provided, should be read in this light (Gaspari et alii, 2022).

In order to respond to the now unavoidable demands of environmental protection and energy efficiency, digital technologies support the project by providing useful tools also to structure multi-scalar, multicriteria and replicable predictive matrices and models of technological-environmental character; these open new horizons for studies on technologies for building process management, especially regarding two approaches, one aiming at resilience in response to the challenges of climate change adaptation and mitigation, and the circular footprint approach from the perspective of safeguarding non-renewable resources.

Two research papers published in the volume should be read from this perspective. The first (Tucci et alii, 2022) defines an original methodological-application approach in support of the experimental-design phase for the regeneration of urban districts in terms of adaptation and mitigation of climate change, with beneficial effects in terms of environmental comfort in outdoor, intermediate and indoor spaces, as well as reduction of energy needs and CO₂ emissions; the methodology, applied to two case studies in Rome, develops a set of comparable, replicable and measurable actions (in terms of performance and well-being) and allows for the evaluation of passive bioclimatic strategies and solutions through dynamic ex-ante/ex-post modelling/simulation activities, whose effectiveness is validated through the quantification of CO₂ emission reduction. The second contribution (De Joanna et alii, 2022) proposes two in-progress, but nevertheless significant, doctoral researches that share the common goal, already at the feasibility study stage, of identifying criteria and tools for the control of resilience and circularity factors in construction as a strategy for environmental impact mitigation; however, they are based on two distinct disciplinary approaches, finalizing the tools developed for the application of different methodologies: one is 'agile', evaluative on a large scale, allowing key players in the decision-making process to operate with a reduced use of resources in terms of time and costs, to have at their disposal a map of the existing built environment and to implement databases and information frameworks useful for future interventions; the other is 'parametric', allowing design choices to be pre-oriented in accordance with the context of reference, transcending the traditional and exclusive focus on energy efficiency and also integrating economic and social aspects for the improvement of housing, environmental and ecosystem quality.

Another relevant impact of digital technologies concerns the promotion and implementation of policies for sharing tangible and intangible resources through new and increasingly sustainable devices-platforms-services. In particular, digital platforms have the potential to unlock innovative fields of action/development by leveraging the possibilities of remote connections between data, assets, knowledge and stakeholders, resolving systemic inefficiencies, creating new opportunities for shared know-how among different fields of knowledge and for exchange in the management of tangible and intangible resources, as well as structuring a robust chain of cross-sectoral reuse across different productive sectors. For example, particularly relevant is the archiving and cataloguing of the Intangible Heritage of traditional artisanal processes on digital platforms that, by acquiring the role

of catalyst for creative and organizational processes, contribute to the construction of a systematized and transmissible memory for more profitable competitiveness of SMEs and act as a driving force for the development of user-experience processes aimed at dissemination and reintegration into the contemporary design context (Goretti et alii 2022). Of no less importance is the development of intuitive, interconnected, integrated and deployable digital platforms and applications for the management of information on university research and educational activities; it will facilitate the transition to an open, transparent, inclusive and sustainable system, in which the academic community succeeds in regaining a primary cultural role, and in which the Universities are increasingly complementary to the territorial model of reference as well as in a constant relationship of exchange and 'mutual contamination' with the research and industry worlds (Bruno and D'Alessandro, 2022).

Sustainable development and digital transition find ample space for new synergies, especially in specific project disciplines interested in developing integrated systems for circular production chains, albeit at different speeds. In fact, if architectural and urban design has long been working towards the innovation of design and construction paradigms in a sustainable and circular sense, exhibition design is slow to integrate these aspects into its creative and management structures in a systemic way. However, there are meaningful and innovative experiments in both subject areas, sometimes already codified into replicable practices, that return the potential of digital for a circular and sustainable transition. While architectural platforms are more well-known (Harvest Map, Restado RE-sign, and Madaster, to name a few), exhibition design platforms are few and poorly known because the museum system has to date mainly focused its attention on the opportunities of digital technologies primarily in terms of fruition, facilitating interactive and immersive experiences or utilizing data as a sensory dimension. There are, however, virtuous private initiatives, such as New York's Materials for the Arts (which collects reusable materials from companies and individuals and provides them free of charge to public schools, city agencies or non-profit organizations for the realization of art programs), Milan's Spazio META (which collects, processes and finally, displays materials for sale to the public) and Non Si Butta Via Niente (which encourages a creative regeneration process of display artefacts, partially or totally reusable, thanks to a mutually collaborative web platform). The cross-analysis of the aforementioned best practices suggests that innovations and circular approaches already embedded in the research and practice of some sectors (such as architecture) could be usefully translated to other less environmentally conscious sectors (such as exhibition design), with possible synergies in the formation of a potential universal 'database' in which materials and components are subject to a traceability system for cross-use in different domains, thereby generating as many life cycles as possible (Crippa et alii, 2022).

It should also be noted that the recent Covid-19 pandemic emergency has enforced changes and restrictions in every field of human activities, replacing the traditional in-person mode with long-distance relationships. The challenge we face today is not to abandon what we have experienced and learned, but to put it to good use with a 'phygital' approach capable of best interpreting the context in which we operate, triggering hybrid, physical or virtual modes of interaction according to punctual needs, to shape a conscious and lasting digital transition. Three experiments in this sense deserve praise, two of which are 'phygital', on undergraduate education (Bracco et alii, 2022) and on material perception (Del Curto et alii, 2022), as well as a didactic on optimizing workflows and waste (Esposito et alii, 2022).

The first illustrates the research project 'Virtual Pharmacy, Real Skills' on the Service Pharmacy, developed by an interdisciplinary team of professors at the University of Genoa: in view of the development of integrated teaching based on stable digitization and the principles of Cognitive Ergonomics and Interaction Design, student and teacher can customize the digital tool, on the one hand overcoming univocal and repetitive modes in favour of a model adapted to punctual needs, and on the other hand stimulating the student's ability to adapt and predict specific situations, fundamental for medical professionals. The second experiment illustrates the project SMaPT (Sustainable Materials and Perception Tool) of the Politecnico di Milano, which developed a new online way of interacting and acquiring knowledge through moodboards of keywords and images to evaluate, according to the principles of CMF design, the level of perception of users at a distance of the aesthetic-expressive properties of sustainable plastics. The third, conducted by professors from the University of Florence using original training approaches, investigates the gamified implementation of Lean mindset processes through BIM applications to increase the quality of the production process and contribute to the achievement of sustainability goals in the construction sector: a didactic simulation using LEGO® as a tool for the application of two workflows, one traditional and one Lean-oriented, demonstrates how appropriate design methodologies combined with today's available digital tools make it possible to control numerous aspects of architectural design, reduce resource waste and design or construction errors, decrease design time and operate in terms of quality management of the final product.

At a time when construction production chains are undergoing a profound ecological and digital transformation to support the competitiveness of a global market and the resilience of the sector to ongoing environmental and socioeconomic challenges, digital tools enable the facilitation of advanced project optimization and management, construction engineering and production, and the maximization of environmental performance. In general, digital can be construed as a technical and cultural innovation that has the potential to promote the development of new and reliable methodological approaches for the interpretation of massive amounts of data that it contributes to making available in order to manage the building process better, but also to simulate/evaluate the performance behaviour and life cycle of the built environment. In addition, the recent development of digital technologies has paved the way for the possibility of transforming facilities for prefabricated building production into

highly integrated, controlled, and economically and environmentally efficient Industry 4.0 systems, in place of more traditional approaches in which centrality is assigned to the construction site, as the privileged place where most of the construction sequences take place. Studies on the topic include the CARES research, conducted by the Department of Architecture of the University of Florence and the company AREA Srl; this study develops a scalable and replicable innovative model of industrial production of corrugated construction elements based on dual product-process digitization through the use of BIM tools, aimed at optimizing material consumption and reducing production waste (Romano et alii, 2022). Further still, the proposition of a workflow for the integration of computer data and data management platforms with environmental impact assessment models such as LCA, in order to support sustainable actions on the life cycle of a particular industrial product, the prefabricated and customized cell for high-tech curtain walls, their real-time verification during the advancement of the production process and increased quality of the final project (Zaffagnini and Morganti, 2022).

The management of the use and maintenance phases of an artefact is also a key aspect in designing sustainable buildings and researching strategies for the efficient management of the built environment in terms of economic resources and materials. Innovative Facility Management processes can be implemented through digital tools, optimizing consumption and resources, as long as they are planned right from the design stages by tapping into the potential of BIM tools and the 'digital twins' populated with the information needed for both the product construction and management phases. However, in practice, the use of BIM tools in management and maintenance operations encounters critical issues due to the many variables that come into play at life cycle stages, the need to update databases and integrate specialized software, and the unavailability of real-time data, all of which is necessary to optimize, and sometimes prolong, the life cycle of a building, component, or material. In order to overcome the aforementioned critical issues, a team of researchers from the University of Trento, the Luav of Venice and Tekser Srl developed an integrated, simplified, user-friendly and cost-effective strategy for the creation of CMMS databases based on BIM models, capable of supporting predictive approaches (Dejaco et alii, 2022): the experimental model allowed for timely malfunction intervention in 90% of cases.

The issues addressed by the research and essays and published in this volume demonstrate that the two transitions, ecological and digital, are closely linked and represent 'inseparable challenges' that need to be addressed systemically and according to logics open to interdisciplinarity, capable of transcending disciplinary status to guide and promote a resilient, sustainable and inclusive 'recovery'. In addition, it is widely acknowledged that 'innovation' and 'sustainability' are the two founding instances of this dual transition, one in service of the other to give new function to things and consciously utilize our planet's non-renewable resources. To this end, digital is configured as a tool capable of initiating shared processes that would otherwise be slower to activate, less pervasive and probably less performant; digital innovation can represent the engine of a new development paradigm capable of providing concrete solutions to the energy and environmental crisis based on an evolutionary mechanism marked by experimentation in design processes.

Another element that emerges from the published texts is the need to bring the human-social component back to the centre of the project and urban planning, in a symbiosis between nature and artifice capable of activating constant feedback cycles that allow responding in real-time to the needs of the entire ecosystem, the city and citizens. Innovation and design firm CRA (Carlo Ratti Associati) has been focusing for quite some time on investigating the possible synergies between the natural and the artificial in the built environment and leveraging digital technologies as a multidisciplinary tool for innovating urban space. The CRA firm addressed several themes; among them was that of decarbonization through the Hot Heart project in Helsinki (2021), a huge facility capable of producing 6,000 GWh with seawater heat pumps and converting wind and solar power, while at the same time offering users multifunctional services, recreational activities and peaceful enjoyment of nature. CRA firm's smaller projects demonstrate that 'indivisible challenges' can/should be addressed at different scales of the built environment through experimentation with technological tools that make them active participants in changing the urban ecosystem: the Living Nature Pavilion (Milan, 2018) with its climate-controlled garden and the Sun&Shade installation (Dubai, 2017) featuring mirrors capable of reflecting excessive sunlight and heat are emblematic examples, as well as the larger Jian Mu Tower (Shenzhen, 2021), a 218-meter tall multipurpose building that exemplifies the concept of 'farmscraper', in which the artificial intelligence of a 'virtual agronomist' manages the production and food supply of the tower's users (Tucci and Ratti, 2022).

In conclusion, the scientific community must broaden the debate on the new design paradigms imposed by digital manufacturing in order to return a greater centrality in the construction site to whoever envisioned the object and therefore possesses its logic in depth (Pone, 2022). It is necessary to evaluate possible trade-offs between 'capital intensive' digital manufacturing (expensive and created using sophisticated, high-performance machine tools) emblematically exemplified by the 2014 Landesgartenschau Exhibition Hall in Stuttgart and the 2017 Timber Pavilion of the Vidy-Lausanne Theatre, and those which are 'labour intensive', which tend to value manpower and collective labour, as in the case of the Constructive Geometry Pavilion built at the Faculdade de Arquitectura da Universidade do Porto in 2012. Nevertheless, the role of the designer in process management will be crucial, as the designer is entrusted with the responsibility of meeting the challenges of the new millennium, whose path seems to be charted on keywords such as innovation, sustainability, interdisciplinarity, digital culture, bits, artificial intelligence, resilience, adaptivity, circular economy, eco-friendliness, community and social inclusion.

INNOVABILITY
Transizione Digitale

INNOVABILITY
Digital Transition

MAKER: IL RITORNO DEI COSTRUTTORI

Una possibile transizione digitale per l'Architettura

MAKER: THE RETURN OF THE BUILDERS

A possible digital transition for Architecture

Sergio Pone

ABSTRACT

L'articolo che segue prova a rispondere alla domanda: come la rivoluzione digitale influenzerà l'architettura nel prossimo futuro? Per formulare una risposta convincente abbiamo a disposizione solo segnali molto esili che provengono da coraggiose sperimentazioni frutto più di lavoro di ricerca che degli stimoli proposti dal mercato. Alcuni studiosi in poche Università, armati di straordinarie abilità digitali e di strumentazioni tipo maker, creano nuove costruzioni sperimentali nelle quali si coniuga una progettazione molto complessa con una costruzione estremamente semplice, per le quali risultino ridondanti le abilità fabbrili e le costose attrezzature che popolano i cantieri tradizionali. Se si affermassero queste linee di sviluppo si potrebbe riportare l'architettura vicino alla gente e restituire al progettista un ruolo centrale nella realizzazione degli edifici.

This contribution attempts to answer the following question: how will the digital revolution affect architecture in the near future? To try to formulate a convincing answer, only very faint signals that come from courageous experiments are available, a result mainly of research work rather than market-proposed stimuli. A handful of researchers in a select number of Universities, armed with extraordinary digital skills and maker-type instrumentation, are creating new experimental constructions in which highly complex design is combined with extremely simple construction, which do not require the manufacturing skills and expensive equipment that populate traditional construction sites. By establishing these lines of development, it would be possible to bring architecture close to the people and restore a central role for the designer in the making of buildings.

KEYWORDS

transizione digitale, transizione ecologica, fablab, fabbricazione digitale, il mestiere di architetto

digital transition, ecological transition, fablab, digital fabrication, the architect's profession



Sergio Pone, Architect and PhD in Architecture Technology, is a Full Professor at the Department of Architecture of the 'Federico II' University of Naples (Italy). He conducts research mainly in the area of innovative wooden structures and the dissemination of the digital revolution in the field of architecture. Email: pone@unina.it

Le macchine utensili guidate dal computer hanno fatto il loro ingresso nel mondo della produzione industriale già dagli ultimi decenni del secolo scorso: da allora si può parlare a pieno titolo di manifattura digitale. E da allora spesso il dibattito sull'architettura e sulla sua costruzione si è interrogato su quale potesse essere il portato culturale di questa modificazione e ha spesso posto l'accento sull'acquisita liberazione dal giogo della standardizzazione, della ripetizione identica degli elementi costruttivi. Il prodotto di serie, prodotto industriale fondato sull'unificazione, era più conveniente quanto più si ripeteva uguale a sé stesso senza modificazioni, variazioni, personalizzazioni; così l'Industria poteva assolvere bene alla sua missione originaria: portare la qualità nella quantità.

Invece la catena produttiva della manifattura digitale consente la differenziazione del prodotto: realizzare cento elementi perfettamente uguali o cento elementi simili ma con piccole differenze è praticamente indifferente: la variazione (ragionevole) non incide più di tanto sul costo dell'oggetto. In architettura, per esempio, progettare un edificio con finestre le cui dimensioni sono tutte diverse tra di loro non equivale più automaticamente a uno spreco di risorse e non implica necessariamente un aumento del costo della fornitura degli infissi, a condizione che la ditta produttrice sia dotata di una manifattura digitale, in particolare di una manifattura a controllo numerico, anche nota come sistema CAM (Computer-Aided Manufacturing).

Wikipedia definisce il CAM¹: «[...] Computer-aided manufacturing (CAM) [...] is the use of software to control machine tools in the manufacturing of work pieces». Come spesso accade i primi sistemi per il CAM non nascono nel campo edilizio bensì nel settore aereospaziale o automobilistico. Fu Pierre Étienne Bézier, ingegnere e matematico francese noto ai più per essere il creatore con Paul de Casteljau delle celebri 'curve di Bézier', a mettere a punto tra il 1968 e il 1975 il sistema UNISURF CAD/CAM per la produzione di parti meccaniche della Renault. Qualche anno prima al MIT Servomechanisms Laboratory di Boston nasceva la prima versione del G-code che ancora oggi consente un'interfaccia ottimale tra computer e macchina utensile. La messa a regime del software (CAM), del linguaggio (G-code) e degli Utensili (CNC) consente alle industrie più tecnologicamente progredite di attivare linee manifatturiere digitali e ciò inizia a succedere negli anni '70-'80 del secolo scorso.

Le grandi macchine industriali, molto specializzate e spesso dotate di software proprietario, eserciteranno un cambiamento significativo ma non sostanziale sul mercato dell'edilizia che in definitiva non modificherà radicalmente i suoi meccanismi di funzionamento. Per assistere a fenomeni che porteranno alcuni analisti a parlare di una innovazione profonda, addirittura di una rivoluzione, bisognerà aspettare il primo decennio del secolo attuale. In questo periodo avverranno tre fenomeni che porteranno la manifattura digitale fuori dagli stabilimenti industriali e ne diffonderanno le pratiche: il primo è l'affermazione definitiva e la diffusione capillare della Grande Rete (Baricco, 2018) che consente di scambiare e condividere informazioni, dati, progetti; il secondo è la diffusione della stampa 3D che ha origine col progetto RepRap (la 'riproduzione' di stampanti 3D molto economiche) e si diffonde a macchia d'olio

dall'epicentro di Bath (UK) verso l'Europa e verso gli USA; il terzo è la creazione e la proliferazione dei FabLab a partire dal capostipite bostoniano (Center for Bits and Atoms) e da lì poi diffusi in tutto il mondo.

La pratica dello sharing | Fiumi di parole sono state dette e scritte sulla storia e sull'affermazione di Internet prima e del World Wide Web poi. Qui ci limiteremo a porre rapidamente l'accento su un fenomeno che sicuramente ha suscitato l'interesse degli analisti, ma forse l'ha fatto in misura non proporzionale alla sua potenzialità di cambiamento su tutto ciò che ci circonda: lo sharing. Quando nel 1998 Larry Page e Sergey Brin fondano Google, la Rete (per come la conosciamo e la usiamo oggi) era uno smisurato contenitore di dati senza una vera ed efficace mappa che aiutasse a trovarli. Google e il suo prodigioso algoritmo creano quella mappa e l'umanità iniziò un percorso che la portò in breve tempo a condividere gratuitamente su Internet le informazioni a cui tutti avevano libero accesso.

Quasi contemporaneamente, nel 1999, Shawn Fanning e Sean Parker fondano Napster e iniziano un altro cammino molto più accidentato e controverso. Fanning e Parker si avvalgono del lavoro del gruppo MPEG (Moving Picture Experts Group) guidato dall'italiano Leonardo Chiariglione che, dopo alcuni anni di ricerca, mette a punto l'algoritmo MP3 (MPEG-1/2 Audio Layer 3) per la compressione audio, strumento in grado di ridurre, senza eccessive perdite di qualità, la quantità di dati necessari per memorizzare un suono; in sintesi con l'MP3 (insieme a una serie di ulteriori innovazioni hardware e software che lo hanno seguito) diventa possibile conservare e riprodurre la musica con il computer.

Chiariglione (cit. in Rossi, 2010) sostiene che «[...] ogni uomo è potenzialmente l'elemento di una rete che coinvolge miliardi di persone, gente che può diffondere e scambiare contenuti». E gli appassionati di tutto il mondo iniziano a costruire le loro personali banche dati e si attrezzano sempre meglio per riprodurre la musica con il computer o con piccoli dispositivi portatili che nascono di conseguenza. La rivoluzione di Napster consiste nel creare un grande archivio dove sono raccolti gli indici di tutte le banche dati personali insieme a un software che crea il contatto per il trasferimento del file: Fanning e Parker inventano il peer-to-peer. Ma Napster è un peer-to-peer imperfetto tanto che le principali case discografiche americane, intuito il pericolo derivante dallo sharing dei file MP3 per il loro business, denunciano Napster e, in una memorabile udienza presso la U.S. Court of Appeals for the Ninth Circuit, ne ottengono la chiusura. L'avvocato difensore di Fanning e Parker chiude la sua arringa sostenendo che le Majors avrebbero potuto vincere una battaglia ma che la loro guerra era già persa.

E così fu: dopo alcuni mesi dalla chiusura di Napster, Gnutella propone agli appassionati di musica di installare sul proprio computer un piccolo software che possa ricevere la query di un altro utente e girarla ad altri tre clients che a loro volta la indirizzano ad altri tre e così via fino a trovare quello in grado di soddisfare la richiesta. Questo nuovo metodo rende tutti i clients un po' server e così scongiura la possibilità di essere intercettati: è il peer-to-peer perfetto. Dopo Gnutella con un

diverso successo, ma con lo stesso metodo, si succedono Kazaa, E-Mule, Torrent, ecc. e la profezia dell'avvocato americano puntualmente si avvera. La pratica dello share/download dura fino all'affermazione dei siti di streaming che rendono inutile il possesso del file sostituendolo con il suo utilizzo in rete. Napster e i suoi successori consentono di scaricare dalla Rete dei file che sostituiscono beni concreti (i vinili, i cd, le cassette) e ne rendono residuale la commercializzazione.

Quindi Google serve per condividere in rete le informazioni, Napster & Co. ci permettono di ottenere dalla Rete informazioni che sostituiscono oggetti concreti e infine Thingiverse ci consente di scaricare file che diventano direttamente oggetti. Questo ultimo passaggio dal virtuale al reale è descritto dalla prossima storia.

La stampa 3D | Un piccolo passo indietro. La storia della stampa 3D inizia nel 1986 quando Charles W. Hull deposita il suo brevetto relativo a un 'Apparato per la produzione di oggetti tridimensionali tramite la stereolitografia'. Il procedimento è basato sulla solidificazione di un polimero fluido foto-sensibile contenuto in una vasca e 'illuminato', per strati, da un raggio laser che ne induce la reazione. Al metodo della stereolitografia seguono altri procedimenti per la prototipazione rapida. In particolare nel 1989 S. Scott Crump brevetta il metodo FDM (Fused Deposition Modelling) basato in prima istanza sull'utilizzo di filamenti in polimeri termoplastici portati allo stato plastico da un ugello riscaldante che, muovendosi secondo gli assi 'X' e 'Y', depone uno strato di materia, prima di spostarsi lungo l'asse 'Z' per deporre un altro e un altro ancora. Crump fonda la Stratasys e sfrutta commercialmente la sua invenzione producendo grandi macchine per la prototipazione rapida molto costose e dotate di software proprietario (Grimm, 2004).

Sarà proprio l'FDM la tecnologia che aprirà al grande pubblico il mondo del 3D printing ma bisognerà aspettare gli anni tra il 2005 e il 2006 per assistere alla rivoluzione che porterà alla diffusione della nuova tecnologia e che, in qualche modo, aprirà l'era dei Makers (Anderson, 2013). Il progetto RepRap (Replicating Rapid Prototyper) avviato da Adrian Bowyer, Lecturer presso l'Università di Bath, consiste nel condividere in rete il progetto di una stampante fatta con l'assemblaggio di pezzi meccanici estremamente semplici e con alcuni pezzi a loro volta stampati da un'altra stampante 3D. In questo apparente paradosso si può leggere la volontà di disseminare nel mondo dei dispositivi che sono economici e prodotti artigianalmente, ma in parte anche in grado di riprodursi con il meccanismo tipico degli esseri viventi e in particolare dei virus.

E come un virus la cultura della fabbricazione digitale rapidamente 'infetterà' la tradizione del fai-da-te – il francese bricolage o l'anglosassone Do-it-yourself (Diy) – e 'infetterà' la (o sarà infettata dalla?) ormai consolidata pratica del file sharing, costruita a partire da Napster e Gnutella. Da questa contaminazione nascono il fenomeno dei Maker e il progetto di Bowyer «[...] has been called the invention that will bring down global capitalism, start a second industrial revolution and save the environment – and it might just put Santa out of a job too. The 'self-replicating rapid prototyper', or RepRap for short, is a machine that lit-



Figg. 1, 2 | Landesgartenschau Exhibition Hall in Stuttgart, designed by Achim Menges and Jan Knippers, 2014 (source: dezeen.com; designboom.com).

erally prints 3D objects from a digital design. Its creators hope that in the future it will be a must-have mod for every home. Instead of queueing for this year's equivalent of Buzz Lightyear, Robosapiens or TMX Elmo, parents will simply download the sought-after design off the internet and print it out. 'If people can make anything for themselves what's the point in going to the shops?' said Adrian Bowyer at Bath University who started the project» (Randerson, 2006).

La domanda di Bowyer allude al profondo cambiamento che questo fenomeno potrebbe apportare ai meccanismi socio-economici sui quali si fonda il commercio (con particolare riguardo agli eccessi della periodica 'sbornia' natalizia); ma questi meccanismi sono in realtà alla base di equilibri e modelli ancora più profondi e strettamente legati all'essenza stessa delle nostre società occidentali: qualche anno dopo Jeremy Rifkin (cit. in Cofino, 2014) sosterrà, a proposito di quello che lui definisce i Collaborative Commons, che: «[...] this is the first new economic system since the advent of capitalism and socialism in the early 19th century so it's a remarkable historical event and it's going to transform our way of life fundamentally over the coming years [...]. It already is; we just haven't framed it».

Per far entrare in ogni casa la stampante 3D è necessario che anche l'utente non esperto possa ottenere facilmente i file-to-factory² necessari per far partire la stampa. Un'ampia offerta è fornita da Thingiverse un sito/blog/portale in cui si 'depositano' i files di molti oggetti scaricabili e immediatamente stampabili. Il trend 'dal virtuale al reale' – simmetrico di quello storico della fine del secolo scorso che dal reale ci ha condotti sempre più verso il virtuale – aperto da Google (ottenere dalla Rete informazioni) e continuato da Napster (ottenere dalla Rete informazioni che valgono come oggetti) si chiude quindi con Thingiverse (ot-

tenere dalla Rete informazioni che diventano direttamente oggetti).

I Fab Lab | Per descrivere compiutamente 'l'irresistibile ascesa' della fabbricazione digitale non si può ignorare il fenomeno dei FabLab che porta il ragionamento sulla rivoluzione digitale in territori più vicini a quelli storicamente presidiati dall'architettura. Non è un caso che il Center for Bits and Atoms (CBA) fondato nel 2001 da Neil Gershenfeld, il primo FabLab della storia, nasca nel MIT (Massachusetts Institute of Technology); la creatura di Gershenfeld, infatti, cresce e sboccia nel terreno reso fertile dalla quasi ventennale presenza del Media Lab fondato nel 1985 dall'architetto Nicolas Negroponte e si configura come un posto dove sono collocati computer, macchine utensili e macchine utensili a controllo numerico presidiate da utenti esperti che possono fornire assistenza a quelli inesperti (Sposito e Scalisi, 2017).

Nel giro di qualche anno il CBA stabilirà uno standard di dotazioni e di abilità necessarie che saranno riconosciute come la condizione minima per accedere al titolo di FabLab e questi laboratori inizieranno a diffondersi su tutto il pianeta. Iscrivere vuol dire avere accesso alle macchine (con costi contenuti) e poter contare (in linea di massima) sull'aiuto degli esperti; si tratta di una gestione elastica che generalmente include, da parte dei gestori, una certa quantità di attività gratuite come ad esempio quelle di supporto alle attività didattiche delle Scuole e delle Università che decidono di voler usare questi laboratori nei loro percorsi formativi.

In realtà così definiti i FabLab parrebbero destinati a un sicuro fallimento economico, data la necessità di includere una certa quantità di lavoro volontario e di erogare servizi gratuiti. Invece, animati dal nuovo spirito dello sharing, si diffondono rapidamente e nel 2013 Barack Obama, allora Presidente degli Stati Uniti d'America, comunicherà nel suo Discorso sullo stato dell'Unione che è stata realizzata «[...] our first manufacturing innovation Institute in Youngstown, Ohio. A once-shuttered warehouse is now a state-of-the-art lab where new workers are mastering the 3D printing that has the potential to revolutionize the way we make almost everything. There's no reason this can't happen in other towns» (Obama, 2013).

In Italia accade a Torino nel febbraio del 2012, quando su suggerimento di Riccardo Luna e grazie all'azione di Massimo Banzi nasce il FabLab Italia. Banzi proviene da una bella storia sul genio italiano iniziata nel 2005 con la creazione di Arduino che recentemente Luna (2022) definisce «[...] un piccolo computer delle dimensioni di una carta di credito che costa appena venti euro: lo colleghi al tuo personal computer con un cavetto USB, scrivi l'azione che vuoi che un certo oggetto faccia e magicamente quella scheda diventa il cuore di una serie di oggetti che possono interagire con noi».

Il successo è planetario e straordinario, anche perché Arduino è probabilmente un paradigma della nuova economia dei Collaborative Commons di cui parla Rifkin: la scheda costa pochissimo e la confezione contiene sensori, motori, led e un bel manuale (in lingua inglese) per iniziare a 'smanettare'. Si configura come un'efficace introduzione all'elettronica e ai procedimenti di automazione di cui bambini vanno pazzi. In tutto il

mondo le applicazioni del sistema si moltiplicano e Arduino si trasforma rapidamente in una community in cui i progetti sono condivisi, implementati, ottimizzati e poi di nuovo condivisi. A partire da questa nuova invidiabile condizione, Banzi (2012) racconta: «Ci è saltato in mente che Arduino poteva fungere ancora da 'incubatore' di idee nuove: le macchine ci sono come c'è la voglia di creare uno spazio dove raccogliere dei talenti per sviluppare nuovi prodotti. Fortunatamente abbiamo trovato sulla nostra strada il partner perfetto per chiudere il cerchio: il co-working Toolbox a Torino si è dato disponibile a darci uno spazio per 18 mesi e da lì sta nascendo Officine Arduino».

Officine Arduino sembra togliere il tappo a una bottiglia che non vedeva l'ora di spandere in tutta Italia le sue frizzanti bollicine. Solo otto mesi dopo Amleto Picerno Ceraso fonda a Cava dei Tirreni (in Provincia di Salerno) il Mediterranean FabLab che sarà il secondo d'Italia e rinnoverà l'asse Torino-Napoli già creato duecento anni orsono dalla prima rivoluzione industriale. Poi sarà un proliferare continuo di altre strutture simili in tutt'Italia che nel giro di pochi anni occuperà saldamente il terzo posto nella classifica mondiale dei Paesi con il maggior numero di FabLab del mondo dopo Stati Uniti e Francia. In questo podio un ruolo importante si può probabilmente attribuire anche alla grande Fiera dell'Artigianato Digitale che dal 2012 si tiene ogni anno a Roma; il numero di visitatori della Maker Faire romana ha da alcuni anni superato quello della sua omologa newyorkese e ne ha fatto un nuovo punto d'incontro e confronto dei makers europei.

E l'architettura? | Il 13 maggio del 2013 Alastair Parvin registra il suo Ted Talk 'Architecture for the people by the people' che sarà visualizzato da oltre 1,65 milioni di persone, cifra enorme data anche la singolarità dell'argomento trattato: il giovane architetto britannico descrive, tra l'altro, una piccola casetta che si può costruire scaricando gratuitamente i disegni dalla Rete. WikiHouse è un 'open source construction kit' che include i files-to-factory per la produzione dei pezzi – che è possibile realizzare attraverso il taglio digitale di una fresa a controllo numerico (CNC router) – e il relativo libretto di istruzioni basato su un progetto fatto a partire dal 2011 dallo stesso Parvin insieme a Nick Ierodiaconou. L'edificio che ne risulta è caratterizzato da una certa complessità degli elementi costruttivi che viene però bilanciata dalla estrema semplicità del montaggio.

Secondo Parvin (2013) per costruire WikiHouse non occorre nessuna competenza tecnica tradizionale poiché è così che si sono realizzati edifici per secoli prima della Rivoluzione Industriale nelle comunità contadine in cui tutti collaboravano alla costruzione dei granai. I contenuti di WikiHouse, pubblicati con licenza Creative Commons, sono diventati patrimonio di gruppi che nel tempo li hanno scaricati, usati, modificati e aggiornati. Si parla quindi di piccole costruzioni che rispondono perfettamente a quanto riportato nei paragrafi precedenti circa l'azione dei Maker: condivisione dei progetti e delle loro implementazioni, 'complessità progettuale vs semplicità esecutiva', utilizzo di macchine produttrici economiche e diffuse nei FabLab. Parrebbe quindi possibile un'architettura fatta dai Makers; si parla di progetti che girano il mondo tramite la Rete e si realizzano

puntualmente con materiali e manodopera locale secondo il vecchio slogan amato da Parvin e ancora presente sul sito di WikiHouse: 'Think global, manufacture local' con una esplicita e chiara attenzione anche alla transizione ecologica.

Sofia Colabella (2017 p. 60) sostiene che: «[...] una progettazione digitale sempre più raffinata al servizio di una costruzione molto semplificata per molti versi insensibile al tabù dell'imprecisione [...] è oggetto di diverse ricerche che hanno come fine l'insegnamento del crafting e la costruzione di architetture complesse in poco tempo o a costi ragionevoli. In questi casi le ottimizzazioni non mirano alla migliore prestazione in assoluto, ma a prestazioni 'ben temperate' e condizionate dalla quantità e qualità del materiale disponibile, dalla massima dimensione del semilavorato di partenza, dagli strumenti di cantiere o ancora dal peso che un dato numero di persone può sollevare senza fare uso di macchine di cantiere costose».

Una diversa assunzione di responsabilità in fase di progetto e un possibile coinvolgimento più profondo nella fase della costruzione riavvicinano l'architetto/maker alle figure dei progettisti pre-industriali. In una delle sue definizioni etimologiche più condivise, l'architetto come 'iniziatore delle arti' è il principale dei costruttori con la responsabilità di dirigere le opere e di definire forma e dimensioni degli elementi della fabbrica. In seguito, nel cantiere rinascimentale, e in particolare attraverso l'opera di Filippo Brunelleschi, l'architetto si affranca dal lavoro manuale per conservare il ruolo di organizzazione e coordinamento e l'architettura entra nel novero delle arti liberali dialogando con la geometria, la matematica, la storia e le altre arti figurative: assume un nuovo valore il progetto di architettura.

Ancora più recentemente, alle origini della Rivoluzione Industriale, con la nascita della figura dell'ingegnere formata nelle nuove Scuole Politecniche, l'architetto, progressivamente, abdica

anche al ruolo di progettista strutturale delegando questa mansione al suo neonato alter-ego tecnico. Ancora, nel secondo dopoguerra, con l'urgenza della ricostruzione in Europa ma soprattutto in Italia, si consolida la prassi di delegare la Direzione dei Lavori nel cantiere edile a figure professionali diverse da quella del progettista che, quindi, perde un altro segmento delle sue originarie mansioni. Il Direttore dei Lavori, nell'accettare l'incarico, è tenuto a verificare la completezza e la attendibilità del progetto e, ove questo risultasse lacunoso o sbagliato, a colmarne le mancanze o a correggerne gli errori. Infine nascono e si affermano le società di ingegneria che sempre più di frequente sono chiamate a elaborare la parte esecutiva del progetto di architettura, integrando o semplicemente completando l'opera dell'architetto il cui intervento si ferma prima; inoltre esse sono chiamate, in alternativa o insieme alle Imprese e ai Direttori dei Lavori, a definire la scelta dei materiali e dei componenti che devono essere utilizzati per la costruzione e che spesso includono una quota di progettazione estranea all'opera del progettista architettonico.

In sostanza, al di là delle inevitabili semplificazioni contenute in questo rapidissimo excursus, si può sostenere che l'architetto pre-rivoluzione digitale è responsabile di ciò che avviene nel cantiere edile in una misura decisamente contenuta e che nei vagiti appena emessi dalla neonata architettura digitale sia possibile una totale inversione di questo trend.

Già nel concetto di file-to-factory, connesso alla pratica della manifattura digitale, il progettista assume la responsabilità completa sulla produzione di elementi della costruzione che, di sovente, contengono al loro interno anche i sistemi di giunzione con gli elementi contigui. Se il progetto dell'incastro tra gli elementi della struttura portante di una WikiHouse presenta degli errori, questi saranno visibili solo all'atto dell'assemblaggio delle parti e saranno interamente 'sulle spalle' del

progettista. Questo possibile aumento della responsabilità e, si può aggiungere, delle competenze necessarie per portare a conclusione il futuro cantiere edile, potrebbe restituire al mestiere di architetto una dignità e una centralità che, nel corso della sommaria evoluzione tracciata in precedenza, si erano progressivamente perse.

Certo, oggi come oggi questa tendenza si applica a un modulo abitativo di pochi metri quadri come WikiHouse, ma in alcuni laboratori (attrezzati come dei FabLab) di alcune Università sono in corso sperimentazioni di tipologie strutturali e di tematiche progettuali ben più impegnative. In questi esperimenti sono quasi sempre coinvolti gli studenti che a diverso titolo collaborano alla complessa produzione del progetto e sono coinvolti fino alla fase della costruzione che, ancora una volta, è curata con grande attenzione e ottimizzata fino allo spasimo per essere compatibile con ridotte capacità fabbrili e con scarsa attrezzatura.

Solo per fare qualche esempio funzionale a questa narrazione sono di grande interesse molti degli esperimenti, su costruzioni in pannelli derivati dal legno tagliati con macchine a controllo numerico, condotti dalla coppia formata da Achim Menges, Direttore dell'Institute for Computational Design, e Jan Knippers, Direttore dell'Institut für Tragkonstruktionen und Konstruktives Entwerfen (ITKE), presso l'Università di Stoccarda. Una delle prime sperimentazioni è stata la struttura a guscio del Landesgartenschau Exhibition Hall realizzata a Stoccarda nel 2014 (Figg. 1, 2). Il padiglione prevede una tassellazione, con esagoni piani di una superficie composta da due calotte sferoidali raccordate da una sella, effettuata con un complesso procedimento di progettazione computazionale: il guscio è realizzato tramite l'assemblaggio di pannelli esagonali, sagomati con un taglio praticato da un braccio robotico Kuka e con un sistema di incastri ottimizzati per il migliore trasferimento delle sollecitazioni da un pannello all'altro.



Figg. 3, 4 | ICD/ITKE Research Pavilion in Stuttgart, designed by Achim Menges and Jan Knippers, 2015-16 (source: dezeen.com).



Fig. 5, 6 | Buga Wood Pavilion in Heilbronn, designed by Achim Menges and Jan Knippers, 2019 (source: archdaily.com; swedishwood.com).



Fig. 7 | SG2012 Gridshell in Troy (USA), designed by Marc Cabrinha, Andrew Kudless and David Shook, 2012 (source: matsys.design).

Nel 2016, sempre presso l'Università di Stoccarda, Menges e Knippers costruiscono il ICD/ITKE Research Pavilion 2015-16 (Figg. 3, 4); in questo caso la sperimentazione prevede la formazione di un complesso componente fatto con un multistrato molto sottile e formato tramite un'applicazione locale dell'active bending. Questi elementi convessi presentano alcuni bordi seghettati in corrispondenza dei quali sono assemblati agli elementi vicini tramite una vera e propria cucitura. Tra i più notevoli esempi della ricerca della coppia tedesca si può citare infine il Buga Wood Pavilion del 2019 (Figg. 5, 6), una interessante variazione della tipologia strutturale a 'boxes': in questa costruzione i pannelli tagliati con CNC sono pre-assemblati a formare elementi tridimensionali che formano i conci della volta come nel passato si usava la pietra; le connessioni tra le boxes sono completamente a secco e non si fa uso di elementi metallici.

Il primo esperimento del duo tedesco utilizza un sistema a elementi bi-dimensionali (panels) mentre gli ultimi due sono fondati su componenti tri-dimensionali (boxes); in effetti tra le sperimentazioni che utilizzano la digital fabrication esistono anche varianti fondate sull'uso di elementi mono-

dimensionali (strips); ad esempio sono significative le sperimentazioni sulle gridshell geodetiche da active bending fatte dall'americano Marc Cabrinha (Fig. 7) del California Polytechnic State University e dalla coppia italiana Carlo De Regibus e Silvia Sgarbossa del Politecnico di Torino. La tipologia strutturale prevede il taglio in lunghe strisce sottili di elementi lignei giuntati in punti preordinati in modo da imporre una curvatura agli elementi che si vanno a disporre su una superficie assegnata.

Ancora nel campo dei 'panel' è molto interessante la ricerca di Yves Weinand, con il suo Laboratory for Timber Construction, Ibois all'EPFL di Losanna che parte dall'Università, con la sperimentazione di tipologie strutturali e dei tool digitali necessari a progettarle, per approdare al mondo dell'edilizia con veri edifici. È nel campo delle superfici piegate che l'Ibois dà il contributo più importante partendo dalla riproposizione dei principali patterns degli origami. Nel 2017 vede la luce il Timber Pavilion of the Vidy-Lausanne Theatre (Figg. 8, 9), un edificio in pannelli di legno, fondato sul principio strutturale delle folded surfaces cioè sulla maggiore resistenza che la piegatura è in grado di attribuire alle superfici sottili. Nel campo delle boxes Weinand costruisce, in associazione con lo studio Valentiny hvp architects, lo Annen Head Office a Manternach³ (Figg. 10, 11) di Luxembourg, dove sperimenta una costruzione realizzata con una serie di volte in cui «Each arch is a double-curved shell structure with a design inspired by Eladio Dieste's Gaussian masonry vaults. The shell is made of two interconnected layers of timber plates assembled with through-tenon joints» (Prévost, 2020). Una successione lineare di boxes (pre-assemblate da un robot assemblatore) è aggregata a disegnare una serie di archi adiacenti in cui l'intradosso configura ancora una superficie piegata.

Se le sperimentazioni degli Istituti di ricerca tedeschi e svizzeri alludono a metodi produttivi molto costosi, l'esperienza portoghese conclusa nel 2012 dal Prof. José Pedro Sousa, coordinatore del DFL (Digital Fabrication Laboratory) presso la Faculdade de Arquitectura da Universidade do Porto, è invece di tutt'altra natura. L'azione collettiva di una classe di studenti porta alla progettazione del Constructive Geometry Pavilion costruito in cartone nel cortile dell'Università: «A total of 185 hexagonal cells and 185 perforated panels were organized in 21 parts for pre-fabrication. Each part was assigned to a group of 2 students, who became responsible for the digital flattening fabrication of the individual pieces, and their assembly» (Sousa, n.d.); elementi caratterizzanti sono quindi la coralità dell'azione e il materiale povero, ideale per la digital fabrication ma, in questo caso, usato in modo tradizionale.

Un caso a parte è quello del giapponese Hiroto Kobayashi della Keio University di Tokyo e delle sue ricerche sui moduli abitativi prefabbricati, realizzati con l'assemblaggio di elementi prodotti grazie alla manifattura digitale. Esempio il caso del sistema Veneer House, nato per gli insediamenti di emergenza dopo il terribile terremoto del 2011, che consente al gruppo di Kobayashi di costruire l'esempio di Maeamihama con l'aiuto della comunità locale di pescatori: «The entire

construction process was diagrammatically illustrated in a construction manual, so that the process could be easily understood without design drawings. This reduced errors during construction and ensured that all personnel were able to understand the sequence of construction. In addition to the manual, the construction progress was shared in detail among all persons involved through the internet».⁴

Pochi pannelli di multistrato, piani costruttivi fondati sulla semplicità di assemblaggio e una comunità locale di non addetti ai lavori: «Since plywood is an accessible material around the world, the building components can be produced anywhere. The data used for the production of these components can be processed by any CNC router, so the production and supply of a Veneer House is not centralized. Whoever wants to use the systems can produce Veneer Houses whenever and wherever they want»⁵. Grazie all'incontro con alcuni studiosi del Politecnico di Torino, Kobayashi potrà sperimentare una versione italiana del sistema Veneer House: il centro sociale Accupoli, costruito ad Accumoli (RI) uno dei Comuni più colpiti dal terremoto del 2016.

Conclusioni | Gli esempi svizzeri e tedeschi alludono a produzioni 'capital intensive', molto costose, fatte con macchine utensili raffinate e performanti, e questo parrebbe contrastare con le logiche della filosofia Maker. Il padiglione portoghese e le case giapponesi ci raccontano un'altra storia impostata su una sperimentazione 'labour intensive' con la valorizzazione della manodopera e del lavoro collettivo. In effetti tutte possono aspirare allo status di 'architettura maker' perché tutte sono fondate sul principio della semplificazione delle operazioni di montaggio. Ciò che avviene in officina o nel laboratorio di progettazione e produzione dei componenti può attingere a tecnologie sofisticate, grazie al principio della condivisione dei mezzi di produzione e può presentare grandi complessità geometriche e strutturali a condizione di utilizzare parte di questa intelligenza per rendere semplice, definito, chiaro, ancora labour intensive il cantiere.

I nuovi paradigmi progettuali imposti dalla digital manufacturing sembrano quindi implicitamente alludere al recupero di un atteggiamento diverso da parte del progettista: si lavora con il progetto, non solo, ma anche per semplificare e rendere poco rischioso economicamente la fase della costruzione. Semplificare la costruzione, come sostiene Parvin, serve a molte cose: a tornare a un modo di costruire più controllato che non richieda il concorso di numerose professionalità ma una nuova, più estesa competenza del progettista; consentire all'utente di appropriarsi del bene costruito da persone come lui (non super-specialisti), di cui capisce le logiche semplici e trasparenti; obbligare l'architetto a scegliere gli strumenti della progettazione che più naturalmente dialogano con la manifattura digitale (il computational design); restituire centralità nel cantiere a colui che ha pensato l'oggetto della costruzione e che quindi ne possiede approfonditamente le logiche, fino al punto che, quasi quasi, potrebbe costruirlo lui.

Confluenza dei saperi, cultura digitale, intelligenza connettiva, economia circolare, eco-compatibilità, valorizzazione del 'comune', inclusione:

sembra che lungo la strada dei Nuovi Costruttori siano allineate tutte queste parole, come a completare la famosa espressione ‘anche le parole sono pietre’ che Rogers scrisse nella Casabella della ricostruzione post-bellica; nell’epoca dell’An-tropocene e nell’era della comunicazione anche le ‘pietre’ possono dire parole importanti.

Computer-driven machine tools have been entering the world of industrial production since the final decades of the last century: from then on, we can rightfully speak of digital manufacturing. Thereafter, the debate on architecture and its construction has often discussed the cultural bearing of this modification and has frequently emphasized the acquired freedom from the shackles of standardization, of the identical repetition of building elements. The mass-produced product, an industrial product based on unification, was more cost-effective in its continuous identical repetition without modification, variation, and customization; thus the Industry could successfully fulfil its original mission: to bring quality into quantity.

On the other hand, the production chain of digital manufacturing allows for product differentiation, i.e., it is practically indifferent to make one hundred perfectly identical elements or one hundred similar elements with small differences. A (reasonable) variation does not significantly affect the cost of the object. In architecture, for example, designing a building with windows whose dimensions are all different from each other no longer automatically equates to a waste of resources, and does not necessarily imply an increase in the supply cost of fixtures, provided that the manufacturing company is equipped with a digital manufacturing system, and in particular a numerical control manufacturing system, also known as a CAM system (Computer-Aided Manufacturing).

As defined by Wikipedia¹, «[...] Computer-aided manufacturing (CAM) [...] is the use of software to control machine tools in the manufactur-

ing of work pieces». As is often the case, the first CAM systems did not originate in the construction field but rather in the aerospace or automotive sectors. It was Pierre Étienne Bézier, a French engineer and mathematician best known to most as the creator, together with Paul de Casteljaou, of the famous ‘Bézier curves’, who between 1968 and 1975 developed the UNISURF CAD/CAM system for the production of mechanical parts for Renault. A few years earlier, the first version of the G-code was born at MIT Servomechanisms Laboratory Boston in Boston, which still allows for an optimal interface between computer and machine tool. The establishment of software (CAM), language (G-code) and Tooling (CNC) made it possible for the most technologically advanced industries to activate digital manufacturing lines, starting from the 1970s-80s.

Large industrial machines, highly specialized and often equipped with proprietary software, will exert a significant but not substantial change on the construction market that ultimately will not fundamentally alter its operating mechanisms. In order to witness phenomena that will lead analysts to speak of a profound innovation, even a revolution, it will be necessary to wait until the first decade of the current century. Three phenomena occur during this period that will lead digital manufacturing out of industrial plants and spread its practices: the first is the definitive establishment and widespread diffusion of the World Wide Web (Baricco, 2018) that allows for the exchange and sharing of information, data, and projects; the second is the diffusion of 3D printing that originates with the RepRap project (the ‘reproduction’ of very inexpensive 3D printers) and spreads like wildfire from the epicentre of Bath (UK) to Europe and the U.S.; the third is the creation and proliferation of FabLabs beginning with the Bostonian forefather (Center for Bits and Atoms) and subsequently spreading around the world.

The practice of sharing | Countless words have been said and written regarding the history and

establishment of the Internet and subsequently the World Wide Web. In this instance, the focus will be limited to a quick emphasis on a phenomenon that has certainly piqued the interest of analysts, but perhaps has done so to an extent that is not commensurate with its potential to change everything around us: sharing. When Larry Page and Sergey Brin founded Google in 1998, the Web (as we know and use it today) was an immense container of data with no real and effective map to help find its contents. Google and its prodigious algorithm created that map, and mankind began a journey that quickly resulted in the free sharing of information on the Internet, information to which everyone had access.

Almost simultaneously, in 1999, Shawn Fanning and Sean Parker founded Napster and began another, much rougher and more controversial journey. Fanning and Parker drew on the work of the MPEG group (Moving Picture Experts Group), led by Italian Leonardo Chiariglione, who, after several years of research, developed the MP3 (MPEG-1/2 Audio Layer 3) algorithm for audio compression, a tool capable of reducing, without excessive loss of quality, the amount of data required to memorize a sound; in short, MP3 (along with a series of further hardware and software innovations that followed) made it possible to store and play music using a computer.

Chiariglione (cit. in Rossi, 2010) states that every human being is potentially the element of a network that involves billions of people, people who can disseminate and exchange content. Thus music lovers all over the world began to build their databases and become better and better equipped to play music with computers or small portable devices that develop as a result. The Napster revolution created a large repository where the indexes of all personal databases were collected, along with software that created the contact for file transfer: so Fanning and Parker invented peer-to-peer. But Napster was an imperfect peer-to-peer, and the major American record companies, sensing the danger of sharing MP3



Figg. 8, 9 | Vidy-Lausanne Theatre Timber Pavilion in Lausanne, designed by Yves Weinand, Valentiny hvp architects, 2017 (source: archdaily.com).



Fig. 10, 11 | Annen Head Office in Manternach, designed by Yves Weinand, 2020 (source: dfab.ch).

files for their business, sued Napster and, in a memorable hearing at the U.S. Ninth Circuit Court of Appeals, managed to shut it down. Fanning and Parker's defence attorney, in his closing argument, claimed that the Major record labels may succeed in winning a battle, but they had already lost their war.

And so it was: a few months after Napster's termination, Gnutella offered music fans a small software program that could be installed on their own computers to receive another user's query and turn it over to three other clients, who in turn would direct it to three others and so on, until they found the one that could satisfy the request. This new method made all clients a bit server, thus avoiding the possibility of being intercepted and creating the perfect peer-to-peer. Following Gnutella, other platforms such as Kazaa, E-mule, Torrent, etc. obtained varying levels of success by employing the same method, validating the prophecy of the American lawyer. The practice of share/download endured until the advent of streaming services that eliminated the need for file ownership by replacing it with its use on the Web. Napster and its successors allowed for the download of files from the Web that replaced concrete goods (vinyl records, CDs, cassettes), thereby making their commercialization residual.

So Google is necessary to share information on the Web, Napster & Co. allow for the retrieval of information from the Web that replaces concrete objects and, finally, Thingiverse allows us to download files that directly become objects. This last step from virtual to real is described in the next story.

3D printing | A small step back. The history of 3D printing began in 1986 when Charles W. Hull filed his patent relating to an 'Apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography'. The procedure is based on the solidification of a photo-sensitive fluid polymer contained in a tank and 'illuminated', by layers, by a laser beam that induces a reaction. The stereolithography method is followed by other processes for rapid prototyping. In particular, in 1989, S. Scott Crump patented the FDM method (Fused Deposition Modeling), initially based on the use of thermoplastic polymer filaments brought to the plastic state

by a heating nozzle that, moving along axes 'X' and 'Y', deposits a layer of matter, before moving along the 'Z' axis to deposit more additional layers. Crump founded Stratasys and commercially capitalised on his invention by producing large, very expensive rapid prototyping machines equipped with proprietary software (Grimm, 2004).

FDM represents the technology that will open the world of 3D printing to the general public, but it will be necessary to wait for 2005-2006 to witness the revolution that will lead to the spread of new technology and that will somehow open the era of Makers (Anderson, 2013). The RepRap project (Replicating Rapid Prototyper) initiated by Adrian Bowyer, Lecturer at the University of Bath, consists in sharing, on the network, the project of a printer made by assembling extremely simple mechanical parts, with some parts in turn printed by another 3D printer. In this apparent paradox, it is possible to see the desire to populate the world with cheap and hand-crafted devices, in part able to reproduce through the typical mechanism of living beings such as viruses.

And, like a virus, the culture of digital fabrication will quickly 'infect' the do-it-yourself tradition – the French bricolage or the English Do-it-yourself (Diy) – and 'infect' (or perhaps will be infected by?) the now established practice of file sharing, stemming from Napster and Gnutella. This contamination resulted in the Maker phenomenon, and Bowyer's project «[...] has been called the invention that will bring down global capitalism, start a second industrial revolution and save the environment – and it might just put Santa out of a job too. The 'self-replicating rapid prototyper', or RepRap for short, is a machine that prints 3D objects from a digital design. Its creators hope that in the future it will be a must-have mod for every home. Instead of queueing for this year's equivalent of Buzz Lightyear, Robosapiens or TMX Elmo, parents will simply download the sought-after design off the internet and print it out. 'If people can make anything for themselves what's the point in going to the shops?' said Adrian Bowyer at Bath University who started the project» (Randerson, 2006).

Bowyer's question alludes to the profound change that this phenomenon could bring to the socio-economic mechanisms on which commerce

is based (with particular regard to the excesses of the recurrent Christmas 'binge'); but these mechanisms actually are at the root of even deeper balances and models that are closely linked to the very essence of our Western societies: a few years later Jeremy Rifkin (cit. in Cofino, 2014) will argue, regarding what he calls the Collaborative Commons that: «[...] this is the first new economic system since the advent of capitalism and socialism in the early 19th century so it's a remarkable historical event and it's going to transform our way of life fundamentally over the coming years [...]. It already is; we just haven't framed it».

To bring the 3D printer into every home, it is necessary to ensure that even the non-expert user can easily obtain the files-to-factory² needed to initiate printing. Thingiverse, a site/blog/portal where the files of many downloadable and immediately printable items are 'deposited', provides an extensive offering. The 'from virtual to reality' trend – symmetrical to the historical one at the end of the last century that led us increasingly from real to virtual – initiated by Google (obtaining information from the Web) and continued by Napster (obtaining information from the Web that is equivalent to objects) thus comes to a close with Thingiverse (obtaining information from the Web that directly becomes objects).

The FabLabs | To fully describe the 'irresistible rise' of digital fabrication, it is necessary to consider the FabLabs phenomenon, which leads the discussion on the digital revolution into territories closer to those historically presided over by architecture. It is no coincidence that the Center for Bits and Atoms (CBA) founded in 2001 by Neil Gershenfeld, the first FabLab in history, was born at MIT (Massachusetts Institute of Technology); Gershenfeld's brainchild, in fact, grows and blossoms in the fertile soil of the Media Lab, founded in 1985 by architect Nicolas Negroponte, and is configured as a place where computers, machine tools and numerically controlled machine tools are housed, overseen by expert users who can assist the inexperienced (Sposito and Scalisi, 2017).

Within a few years, the CBA establishes the minimum standard of equipment and necessary skills to obtain the title of FabLab, and these laboratories thus begin to spread throughout the plan-

et. Signing up means having access to the machines (at low cost) and being able to count (in general) on the help of experts; this is an elastic management system that generally includes, on behalf of the managers, a certain amount of free activities, such as those supporting educational activities of the Schools and Universities that choose to use these labs to support their curricula.

In truth, following this definition, FabLabs would appear doomed to inevitable economic failure, given the need to include a certain amount of volunteer labour and the provision of free services. Instead, animated by the new spirit of sharing, they spread rapidly, and in 2013 Barack Obama, then President of the United States of America, in his State of the Union Address, announces the opening of «[...] our first manufacturing innovation Institute in Youngstown, Ohio. A once-shuttered warehouse is now a state-of-the-art lab where new workers are mastering the 3D printing that has the potential to revolutionize the way we make almost everything. There's no reason this can't happen in other towns» (Obama, 2013).

The same happens in Turin, Italy, in February 2012, with the foundation of FabLab Italia following the suggestion of Riccardo Luna and thanks to the efforts of Massimo Banzi. Banzi comes from a beautiful story of Italian genius that began in 2005 with the creation of Arduino, which recently Luna (2022) defined as a small computer the size of a credit card that costs just twenty euros: the user connects it to a personal computer with a USB cable, writes the action they want a certain object to perform, and magically that board becomes the heart of a series of objects that can interact with us.

Success is global and extraordinary, not least because Arduino is arguably a paradigm of the new Collaborative Commons economy discussed by Rifkin: the board costs very little, and the package contains sensors, motors, LEDs, and a handy manual (in English) to start 'playing around'. It serves as an effective introduction to electronics and automation processes that children are crazy about. Worldwide, system applications multiply and Arduino quickly becomes a community where projects are shared, implemented, optimized, and then shared again. From this new enviable condition, Banzi (2012) states that Arduino could serve as an 'incubator' for new ideas, since the machines are available, as is the desire to create a space where talents can gather to develop new products. The Toolbox co-working in Turin proved to be the perfect partner, willing to provide a space for 18 months, resulting in the foundation of Officine Arduino.

Officine Arduino seems to remove the cap from a bottle that could not wait to spread its sparkling bubbles throughout Italy. Only eight months later Amleto Picerno Ceraso founded the Mediterranean FabLab in Cava dei Tirreni (Province of Salerno), the second in Italy, renewing the Turin-Naples axis already created two centuries before by the first industrial revolution. Subsequently, Italy will experience a continuous proliferation of other similar structures throughout its territory and, in a few years, will firmly occupy third place in the world ranking of the countries with the highest number of FabLabs in the world, after the United States and France. In this podium, an important role can probably also be attributed to the

great Digital Craftsmanship Fair that has been held annually in Rome since 2012; the number of visitors to the Roman Maker Faire has for some years now surpassed that of its New York counterpart, making it a new meeting and comparison point for European makers.

What about architecture? | On May 13, 2013, Alastair Parvin recorded his Ted Talk 'Architecture for the people by the people', viewed by over 1.65 million people, a huge figure given the singularity of the topic: the young British architect describes, among other things, a small house that can be built by downloading free plans from the Web. WikiHouse is an 'open source construction kit' that includes the files-to-factory for the production of the parts – which can be made through digital cutting on a CNC router – and the accompanying instruction booklet based on a project undertaken in 2011 by Parvin himself together with Nick Ierodiaconou. The resulting building is characterized by a certain complexity of construction elements that is, however, balanced by the extreme simplicity of assembly.

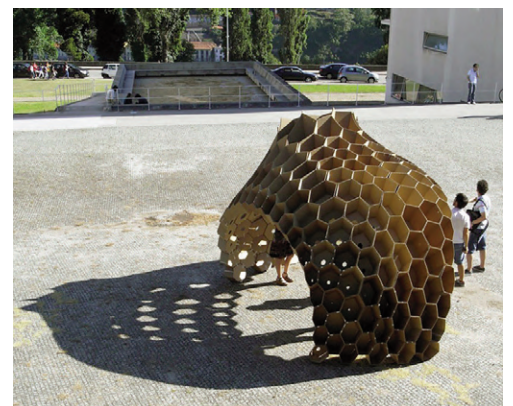
According to Parvin (2013), no traditional technical skills are necessary to build WikiHouse, as this is how buildings were made for centuries before the Industrial Revolution, in peasant communities where everyone collaborated in the construction of barns. The contents of WikiHouse, published under a Creative Commons license, have become the heritage of groups that over time have downloaded, used, modified and adjusted them. These are therefore small constructions that respond perfectly to what has been described in the preceding paragraphs regarding the action of Makers: the sharing of projects and their implementations, 'design complexity vs. executive simplicity,' and the use of inexpensive and widespread manufacturing machines in FabLabs. An architecture made by Makers would therefore seem possible. These are projects that travel the world via the Web and are punctually realized with local materials and labour in accordance with the old slogan beloved by Parvin and still featured on the WikiHouse website: 'Think global, manufacture local' with an explicit and clear focus also on the ecological transition.

Sophia Colabella (2017 p. 60) argues that increasingly refined digital design in the service of highly simplified construction, in many ways insensitive to the taboo of inaccuracy, is the subject of several studies that aim to teach crafting and the construction of complex architectures in little time or at a reasonable cost. In these cases, the optimizations do not aim for the very best performance, but for a 'well-tempered' performance, conditioned by the quantity and quality of the available material, the maximum size of the initial semi-finished product, the construction tools or even the weight that a given number of people can lift without making use of expensive construction machinery.

A different undertaking of responsibility in the design phase and a possible deeper involvement in the construction phase bring the architect/maker closer to the roles of pre-industrial designers. In one of the most shared etymological definitions, the architect as 'initiator of the arts' is the leader of the builders, with the responsibility for directing the work and defining the shape and size of the

factory elements. Later, in the Renaissance construction sites, and particularly through the work of Filippo Brunelleschi, the architect breaks free from manual labour to retain an organization and coordination role, and architecture enters the ranks of the liberal arts by dialoguing with geometry, mathematics, history, and the other figurative arts: the architectural project, therefore, takes on a new value.

Even more recently, at the origins of the Industrial Revolution, which saw the establishment of the engineer trained in the new Polytechnic Schools, the architect gradually abdicated even the role of structural designer, delegating this task to his fledgling technical alter-ego. Again, following World War II, with the urgency of reconstruction in Europe but especially in Italy, there was a consolidation of the practice of delegating on-site Construction Management to professionals other than the designer who, therefore, lost another segment of their original duties. The Construction Manager, in accepting the assignment, is required to verify the completeness and reliability of the project and, if this is lacking or flawed, to fill the shortcomings or correct any errors. Finally, engineering companies emerge and establish themselves, increasingly called upon to elaborate the construction phase of the architectural project, supplementing or simply completing the work of the architect, whose involvement ends previously; they are also involved, alternatively or together with the Contractors and Construction Managers, in the selection of materials and components to be used in construction, often including a projec-



Figgs. 12, 13 | Constructive Geometry Pavilion in Porto, designed by José Pedro Sousa, coordinator of the DFL (Digital Fabrication Laboratory) at the Faculdade de Arquitectura da Universidade do Porto, 2012 (source: dfl.arq.up.pt).



Fig. 14, 15 | Housing in Emergency for Life and People (H.E.L.P.) 6.5 – Social Center in Accumoli; designed by Lorenna Alessio, it is based on Hiroto Kobayashi's project, 2018 (source: teknoring. com).

tual dimension foreign to the work of the architectural designer.

In essence, beyond the inevitable simplifications contained in this very brief excursus, it can be argued that the pre-digital revolution architect is responsible to a decidedly small extent for what happens on the construction site. It can equally be argued that in the newly uttered wails of the fledgling digital architecture, a total reversal of this trend is possible.

Already in the concept of file-to-factory, inherent in the practice of digital manufacturing, the designer assumes complete responsibility over the production of building elements that, oftentimes, also contain the joining systems with contiguous elements. Any errors relating to the design of interlocking elements of the supporting structure of a WikiHouse will be visible only when the parts are assembled and will be entirely 'on the shoulders'

of the designer. This possible increase in responsibility and, one may add, in the skills needed to complete the future construction site, could restore dignity and centrality to the architectural profession, gradually lost in the course of the evolution previously traced.

Admittedly, nowadays this trend applies to a housing module of a few square meters such as the WikiHouse, but in some University laboratories (equipped much like FabLabs), experiments with far more challenging structural types and design themes are underway. These experiments almost always involve students, who collaborate in various capacities in the complex production of the project and are involved up to the construction phase, which, once again, is painstakingly curated and optimized to the extreme so as to be compatible with reduced fabrication capabilities and scarce equipment.

To name just a few examples functional to this narrative, many of the experiments on wood-derived panel constructions cut with numerically controlled machines are of great interest, conducted by the duo formed by Achim Menges, Director of the Institute for Computational Design, and Jan Knippers, Director of the Institut für Tragkonstruktionen und Konstruktives Entwerfen (ITKE), at the University of Stuttgart. One of the first experiments was the shell structure of the Landesgartenschau Exhibition Hall, built in Stuttgart in 2014. The pavilion features tessellation, with flat hexagons of a surface composed of two spheroidal caps connected by a saddle, carried out using a complex computational design procedure. The shell is made by assembling hexagonal panels, cut into a specific shape by a Kuka robotic arm and featuring an optimized interlocking system for optimal stress transfer from one panel to another.

In 2016, once again at the University of Stuttgart, Menges and Knippers built the 2015-16 ICD/ITKE Research Pavilion. In this case, the experimentation involves the formation of a complex component made from a very thin multilayer and formed by the local application of active bending. These convex elements feature some serrated edges by which they are assembled to neighbouring elements through an actual seam. Among the most notable examples of the research of the German duo is the 2019 Buga Wood Pavilion, an interesting variation of the 'boxes' structural typology. In this construction, CNC-cut panels are pre-assembled to form three-dimensional elements that form the vault ashlars just as stone was used in the past. The connections between the boxes are completely dry and no metal elements are used.

The German duo's first experiment uses a two-dimensional element system (panels) while the other two are based on three-dimensional components (boxes); in fact, among the experiments that use digital fabrication, there are also variants based on the use of one-dimensional elements (strips); for example, the experiments on geodesic gridshells from active bending conducted by American Marc Cabrinha of California Polytechnic State University and Italian pair Carlo De Regibus and Silvia Sgarbossa from the Politecnico di Torino. The structural typology involves cutting wooden elements spliced in pre-ordered points into long thin strips, in order to impose a curvature on the elements that are to be placed on an assigned surface.

Yves Weinand's research, also in the field of 'panels', is very interesting; his Laboratory for Timber Construction, Ibois at EPFL Lausanne, begins in the University, with experimentation on structural typologies and the digital tools needed to design them, and then advances to the construction world involving actual buildings. It is in the field of folded surfaces that Ibois makes the most important contribution, starting from the repurposing of the main patterns of origami. 2017 saw the creation of the Timber Pavilion of the Vidy-Lausanne Theatre, a building made of wood panels, based on the structural principle of folded surfaces i.e., the increased strength that folding is able to impart to thin surfaces. In the field of boxes, Weinand built, in association with the firm Valentiny hyp architects, the Annen Head Office in Manternach³,

Luxembourg, where he experimented with a construction made of a series of vaults in which «Each arch is a double-curved shell structure with a design inspired by Eladio Dieste's Gaussian masonry vaults. The shell is made of two interconnected layers of timber plates assembled with through-tenon joints» (Prévost, 2020). A linear succession of boxes (pre-assembled by an assembler robot) is aggregated to draw a series of adjacent arcs in which the soffit still configures a folded surface.

If the experiments of the German and Swiss research institutes hint at very expensive production methods, the Portuguese experience conducted in 2012 by Prof. José Pedro Sousa, coordinator of the DFL (Digital Fabrication Laboratory) at the Faculdade de Arquitectura da Universidade do Porto, on the other hand, is evidence of a completely different nature. The collective action of a class of students led to the design of the Constructive Geometric Pavilion built in cardboard in the courtyard of the University: «A total of 185 hexagonal cells and 185 perforated panels were organized in 21 parts for pre-fabrication. Each part was assigned to a group of 2 students, who became responsible for the digital flattening fabrication of the individual pieces, and their assembly» (Sousa, n.d.), placing great emphasis on group activities and poor materials, ideal for digital fabrication but, in this case, used traditionally.

A somewhat distinct case is that of Japanese Hiroto Kobayashi of Keio University in Tokyo and his research on prefabricated housing modules made by assembling elements produced through digital manufacturing. Exemplary is the case of the Veneer House system, created for emergency housing after the devastating 2011 earthquake, enabling Kobayashi's group to build the Maeami-hama example with the help of the local fishing community: «The entire construction process was

diagrammatically illustrated in a construction manual, so that the process could be easily understood without design drawings. This reduced errors during construction and ensured that all personnel were able to understand the sequence of construction. In addition to the manual, the construction progress was shared in detail among all persons involved through the internet».⁴

A few plywood panels, construction plans founded on the simplicity of assembly, and a local untrained community: «Since plywood is an accessible material around the world, the building components can be produced anywhere. The data used for the production of these components can be processed by any CNC router, so the production and supply of a Veneer House are not centralized. Whoever wants to use the systems can produce Veneer Houses whenever and wherever they want»⁵. Thanks to a collaboration with researchers at the Politecnico di Torino, Kobayashi will be able to experiment with an Italian version of the Veneer House system: the Accupoli community centre, built in Accumoli (RI, Italy) one of the municipalities most affected by the 2016 earthquake.

Conclusions | The Swiss and German examples allude to 'capital intensive' productions, very expensive and made with refined and high-performance machine tools, and this would seem in contrast with the logic of the Maker philosophy. The Portuguese pavilion and the Japanese houses tell us another story, set on 'labour-intensive' experimentation with an emphasis on labour and collective work. In truth, all of them can aspire to the status of 'maker architecture' because they are all founded on the principle of simplifying assembly operations. What takes place in the workshop or component design and production labo-

ratory can draw on sophisticated technologies, through the principle of shared means of production, and can present great geometric and structural complexities under the condition of using some of this intelligence to make the construction site simple, defined, clear, and labour intensive.

The new design paradigms imposed by digital manufacturing, therefore, seem to implicitly allude to the recovery of a different attitude on behalf of the designer: work is done with the project, not only but also to simplify the construction phase and make it financially low-risk. Simplifying construction, as Parvin argues, serves many purposes: to return to a more controlled way of building that does not require the participation of numerous professionals but a new, more extensive expertise of the designer; to enable the user to take ownership of the object built not by super-specialists but by people like him, whose simple and transparent logic he understands; to compel the architect to choose the design tools that most naturally converse with digital manufacturing (computational design); to return centrality on the construction site to the individual who designed the object of construction and thus thoroughly possesses its logic, to the extent that he could almost build it himself.

The confluence of knowledge, digital culture, connective intelligence, circular economy, eco-compatibility, enhancement of the 'common', and inclusion: it seems that all these words are lined up along the path for New Builders as if to complement the famous concept that even words are stones, which Rogers wrote in the Casabella of post-war reconstruction: in the age of the Anthropocene and the era of communication, even 'stones' can speak important words.

Notes

1) For more details see the webpage: en.wikipedia.org/wiki/Computer-aided-manufacturing; it.wikipedia.org/wiki/Computer-aided-manufacturing [Accessed 10 November 2022].

2) File-to-factory is the electronic process by which information is transmitted from the computer to the CNC machine tools.

3) For more details see the webpage: weinand.be/project/annen-head-office [Accessed 10 November 2022].

4) For more details see the webpage: kmdw.com/maeamihama-en [Accessed 10 November 2022].

5) For more details see the webpage: veneerhouse.com [Accessed 10 November 2022].

References

- Anderson, C. (2013), *Makers – The New Industrial Revolution*, Random House Business Books, London.
- Banzi, M. (2012), "Aprono le Officine Arduino", in *blog Arduino*, 12/01/2012. [Online] Available at: blog.arduino.cc/2012/01/25/aprono-le-officine-arduino [Accessed 10 November 2022].
- Baricco, A. (2018), *The Game*, Einaudi, Torino.
- Cofino, J. (2014), "Radical new economic system will emerge from collapse of capitalism", in *The Guardian*, 07/11/2014. [Online] Available at: theguardian.com/sustainable-business/2014/nov/07/radical-new-economic-sys

tem-will-emerge-from-collapse-of-capitalism [Accessed 10 November 2022].

Colabella, S. (2017), "Il legno al tempo del digitale", in Pone, S. and Colabella, S. (eds), *Maker – La fabbricazione digitale per l'architettura e il design*, Progedit, Bari, pp. 55-67.

Grimm, T. (2004), *User's Guide to Rapid Prototyping*, Society of Manufacturing Engineers, Dearborn.

Luna, R. (2022), "Massimo Banzi con due amici fonda Arduino per consentire a tutti di fare cose meravigliose", in *la Repubblica*, 17/03/2022. [Online] Available at: repubblica.it/tecnologia/2022/03/17/news/banzi_fonda_arduino-341669852 [Accessed 10 November 2022].

Obama, B. H. (2013), "Il testo integrale del discorso di Barack Obama sullo stato dell'Unione", in *Il Sole 24 Ore*, 13/03/2013. [Online] Available at: st.ilssole24ore.com/art/notizie/2013-02-13/testo-integrale-discorso-barack-075743.shtml?uuid=Ab7zquTH&p=4 [Accessed 10 November 2022].

Parvin, A. (2013), "Architecture for the people by the people", in *TED | Ideas worth spreading*. [Online] Available at: ted.com/talks/alastair_parvin_architecture_for_the_people_by_the_people [Accessed 10 November 2022].

Prévost, V. (2020), "The Annen Head Office Project is on Tracés!", in *EPFL*, 12/05/2020. [Online] Available at: actu.epfl.ch/news/the-annen-head-office-project-is-on-traces/ [Accessed 10 November 2022].

Randerson, J. (2006), "Put your feet up, Santa, the Christmas machine has arrived", in *The Guardian*, 25/11/2006. [Online] Available at: theguardian.com/science/2006/nov/

25/frontpagenews.christmas2006 [Accessed 10 November 2022].

Rossi, A. (2010), "Così abbiamo abbattuto le barriere tra i mondi – Chiariglione – I contenuti oggi circolano senza limiti", in *La Stampa*, 01/04/2010. [Online] Available at: lastampa.it/torino/2010/04/01/news/cosi-abbiamo-abbattuto-br-le-barriere-tra-i-mondi-1.37016088/ [Accessed 10 November 2022].

Sousa, J. P. (n.d.), "Constructive Geometry Pavilion 2011/12", in *Digital Fabrication Laboratory*. [Online] Available at: dfl.arq.up.pt/portfolio/constructive-geometry-pavilion-201112/ [Accessed 10 November 2022].

Sposito, C. and Scalisi, F. (2017), "Strumenti e materiali per la fabbricazione digitale in architettura | Instruments and materials for digital manufacturing in architecture", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 1, pp. 143-151. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1222017 [Accessed 14 November 2022].

RETROSPETTIVE E PROSPETTIVE SUL RAPPORTO TRA PROGETTO, TECNOLOGIA E NEOCIBERNETICA

PAST AND FUTURE OF THE CONNECTION BETWEEN PROJECT, TECHNOLOGY AND NEOCYBERNETICS

Theo Zaffagnini, Otello Palmini

ABSTRACT

Il contributo pone in dialogo le scienze del progetto e la filosofia della tecnologia al fine di riflettere sul concetto di innovazione in era digitale. Con questo obiettivo si affronta la ricostruzione di un incontro decisivo tra queste due dimensioni consolidatosi dalla fine degli anni Sessanta nel contesto italiano confrontandolo con le prospettive di ricerca attuali. Questo confronto indaga una linea evolutiva delle relazioni tra uomo e macchina nell'orizzonte progettuale con una particolare attenzione all'approccio sistemico. Il pensiero cibernetic e i suoi sviluppi costituiscono il nesso tra questi due momenti (anche brevemente esemplificati in contesti operativi) e in un suo ripensamento si individuano delle possibilità di interpretazione differente del rapporto tra tecnologia e progetto, un rapporto capace di coniugare approccio olistico e attenzione alle differenze e finalizzato a contribuire alla riflessione sulla cornice teorica attraverso cui implementare le nuove tecnologie.

The paper compares design sciences and the philosophy of technology to contribute to the understanding of the concept of innovation in the digital era. Firstly, this work retraces an encounter between these two dimensions that took place in Italy in the late 1960s in order to compare it with some contemporary research perspectives. This operation investigates the evolution of the connection between humans and machines in design, particularly focusing on the systemic approach. Cybernetic thinking and its developments are the links between the two moments (investigated in the text both from a theoretical point of view and through examples). Secondly, it will be shown that a different interpretation of cybernetics can open up the possibility of a new understanding of the relationship between technology and design. A perspective capable of merging a holistic approach and attention to differences and aimed at providing a contribution to the reflection on theoretical paradigms through which technological innovation can be deployed.

KEYWORDS

teoria dei sistemi, cultura tecnologica, neocibernetica, transizione digitale, innovazione

systems theory, technological culture, neocybernetics, digital transition, innovation

Theo Zaffagnini, Architect and PhD, is an Associate Professor at the Department of Architecture of the University of Ferrara (Italy). He carries out research in the field of Architectural Technology and mainly deals with technological and digital innovation in building processes and with sustainability in architectural buildings. E-mail: theo.zaffagnini@unife.it

Otello Palmini is a PhD Candidate in Architecture and Urban Planning (IDAUP) at the Department of Architecture of the University of Ferrara (Italy). He graduated in Philosophy and Philosophical Sciences at the University of Bologna and took a master's degree in Innovation Management and Communities at the University of Ferrara. He deals with the ethical consequences of the use of artificial intelligence in urban areas. E-mail: plmtll@unife.it



La fine degli anni Sessanta e l'inizio degli anni Settanta del Novecento in Italia, per chi ama volgersi indietro per tentare di comprendere alcune dinamiche future, rappresentano un momento apparentemente non molto dissimile, per atmosfera e ambiziose aspettative, a quello attuale. Se con il termine *innovability*[®]¹ intendiamo l'odierna urgenza di generare un rapporto di complementarità strategica tra ecologia e digitale, è bene chiarire una differenza con il paradigma prevalente in quegli anni. Un paradigma caratterizzato dalla definizione di un rapporto anch'esso di complementarità strategica, ma, in quel frangente, ricercato tra industria e accademia: tra sviluppo di modelli progettuali, produttivi e gestionali efficienti e la formazione di nuove figure professionali adeguate alle sfide da affrontare. Giuseppe Ciribini (cit. in Turchini, 2013, p. 155), uno dei più importanti maestri della disciplina della Tecnologia, traduce questa esigenza nella necessità di formare degli intellettuali tecnici, ovvero figure in grado di trasferire cultura e riflessione teorica sugli obiettivi nel mondo della produzione e di integrare la dimensione ideale e critica con il raggiungimento di risultati tecnologici concreti.

Questa esigenza è una coerente risposta alla consapevolezza delle complesse sfide dalla società del tempo: «[...] un mondo [...] che cominciava ad accorgersi di disporre di risorse scarse e che doveva essere indagato non solo per trovare soluzioni, ma prima ancora per capire le cause dei fenomeni» (Antonini, 2013, p. 44). Tale risposta contribuì progressivamente a perfezionare il rapporto tra tecnologia, progetto, design e ambiente, arrivando ai modelli che oggi conosciamo e pratichiamo e aprendo la strada a competenze gestionali e a nuove sensibilità pur con gli ovvi ripensamenti iterativi. Non uno solo, ma molti dei maestri della disciplina attivi in quegli anni – nella sana competitività e nel convincimento pieno della validità delle proprie idee – si sono distinti per l'applicazione dei principi comuni citati precedentemente oltre che per l'apertura e la contaminazione delle proprie diverse visioni di futuro: specialmente nella strutturazione di modelli teorici e nell'uso del progetto come strumento di definizione e sperimentazione di nuovi modelli di industrializzazione. Queste riflessioni furono messe al servizio della visione di una frontiera evolutiva nazionale articolata e capace di intersecare le nuove tecnologie informazionali, la cibernetica, la filosofia, la semiotica e l'ergonomia.

A stupire nella lettura dei volumi di quegli anni come *La Sfida Elettronica* (Foti et alii, 1969; Fig. 1) e soprattutto *Un Pianeta da Abitare* (Ente Autonomo Fiere di Bologna and Associazione Italiana Prefabbricazione per l'edilizia industrializzata, 1971; Fig. 2) è la qualità e la modernità dell'analisi: una lettura del contesto tecnologico e delle sue prospettive in un quadro realmente multidisciplinare, con studi capaci di mettere in relazione proficua le frontiere del sapere tecnologico per l'edilizia con altri ambiti culturali, al fine di pensare dei driver per l'innovazione di settore. Nel primo dei due testi gli autori si confrontarono sulle prospettive dell'uso del computer in architettura (Fig. 3).

A una lettura contemporanea queste considerazioni appaiono tanto predittive di pratiche e realtà divenute poi, nei decenni successivi, patrimonio comune di progettisti e studiosi, quanto fortemente attuali riguardo una penetrante analisi

circa le potenziali criticità applicative e i rischi impliciti. Ma è nel secondo volume, in particolare nella sezione prima intitolata *Il Boomerang Tecnologico*, che emergono in modo cristallino alcune capacità predittive del gruppo di lavoro le quali, se replicabili all'oggi, darebbero un quadro forse più lucido o attendibile delle ricadute dello sviluppo tecnologico dei prossimi decenni. Si trattò di un libro manifesto di una visione olistica del futuro capace di indicare i territori e le metodologie avanzate di sviluppo della progettazione tecnologica e l'imprescindibilità del dialogo costruttivo e di azione sinergica con l'industria di settore. Inoltre vi si tratteggiarono le basi del concetto di sostenibilità e di quella che sarebbe diventata la disciplina della progettazione ambientale attraverso l'introduzione, nella matrice evolutivista disciplinare, delle tematiche tecnologiche.

Nello scritto *Una Nuova Tecnologia per l'Ambiente Costruito*, Ciribini (1971) pone le basi teoriche di questa visione delineando un approccio di tipo cibernetico alla progettazione capace di tradurre, senza esserne schiacciata, la cultura tecnologica del suo tempo in linguaggio progettuale. Nel contributo successivo intitolato *La Gestione della Tecnologia*, Baglioni Moretti, Baracchi, Bazzanella, Foti, Pasquali e Zaffagnini mettono in evidenza potenzialità e criticità indotte da un'innovazione tecnologica autoriferita o guidata solo dal profitto e svincolata da contesti sociali, ambientali ed etici. Il testo si impone come una puntuale analisi del contesto unita a una pragmatica lettura dei rischi di questo tipo di avanzamento tecnologico sia per lo sviluppo umano sia per l'equilibrio ambientale (Baglioni Moretti et alii, 1971, pp. 59-61). È qui che l'approccio sistemico proposto da Ciribini viene declinato nel rapporto tra uomo e ambiente attraverso supporti metodologici per la progettazione di una edificazione del territorio imperniati sulle necessità dell'uomo e sulle capacità operative (che oggi chiameremmo skills) di una nuova generazione di tecnici (Fig. 4).

A partire da questi presupposti, il presente contributo analizza la relazione tra modello cibernetico e progettazione mettendo in dialogo la prospettiva del gruppo di lavoro citato con quella del filosofo Gilbert Simondon. Questo confronto – attraverso un'indagine teorica e il riferimento a un determinato approccio progettuale – delineerà tanto il profilo di questa operazione quanto lo spazio che in essa resta per la dimensione etica e non meramente tecnica del progetto. Successivamente si indicheranno alcuni degli usi contemporanei del paradigma cibernetico nelle scienze del progetto evidenziandone limiti e prospettive. Infine, attraverso una riflessione sulla struttura del modello cibernetico, si proporrà una lettura capace di intersecare questa prospettiva con dei paradigmi progettuali contemporanei e con un quadro teorico mutato attraverso cui poter implementare le più recenti innovazioni tecnologiche con una particolare attenzione all'aspetto etico e a quello ambientale.

Un nuovo modello della realtà | Come detto è soprattutto Ciribini, fra gli altri, a formalizzare una prospettiva teorica in cui la tecnologia viene indicata come elemento necessario, ma non sufficiente, all'innovazione progettuale. Infatti, questo Maestro della disciplina, individua attraverso il concetto di alienazione la matrice delle incompa-

rità tra tecnologia, ambiente e società a cui abbiamo accennato. Egli, prendendo a modello alcune riflessioni di Simondon del 1958 (Simondon, 2021, pp. 135-136), intende l'alienazione come mancata acquisizione da parte di coloro che operano in contesti tecnologici di una sorta di intelligenza dell'oggetto tecnico (Ciribini, 1971, p. 15). Esiste un disallineamento tra lo stadio dello sviluppo tecnico e quello della capacità che le forze lavorative e organizzative hanno di relazionarsi; è questo sfasamento a impedire quella 'specie di intelligenza' a cui Ciribini fa riferimento. Questa lettura, che accomuna i due autori, è basata su una concezione della tecnologia come processo connesso alla prassi umana che evolve attraverso una storia che dall'attrezzo, tramite lo strumento, giunge alla macchina.

Il tema diventa, allora, guadagnare una relazione sincronica alla nuova età della macchina (Fig. 5), a quella seconda rivoluzione industriale descritta da Norbert Wiener già nel 1965 e caratterizzata dalla possibilità di una sostituzione meccanica di alcune operazioni tradizionalmente assegnate al cervello (Wiener, 1968). Le nuove macchine dialogano con il proprio ambiente attraverso dei sensori e, tramite dei meccanismi di retroazione, possono regolare il proprio comportamento in vista di un fine. I concetti di sistema, informazione e ambiente diventano le componenti di una nuova interpretazione della realtà. Ciribini (1971, p. 29) riconosce alla cibernetica, nel suo contesto tecnologico, il ruolo di filosofia sistemica e strutturale capace di fornire un nuovo modello scientifico. Si coglie che l'informazione sarà probabilmente materia delle società del futuro e che la teoria dei sistemi potrebbe esserne la logica. L'approccio sistemico, allora, diventa il modello attraverso cui instaurare un dialogo tra natura, uomo e società attraverso la tecnologia (Ciribini, 1971, p. 18). La cibernetica diventa allo stesso tempo il modello attraverso cui interpretiamo la realtà e la struttura di assiomi e regole di trasformazione tramite cui strutturiamo il nostro agire razionale (Ciribini, 1971, p. 35; Hammoudi, 2021).

Una cultura tecnologica per il progetto e un progetto per una cultura tecnologica | La relazione tra questa cultura tecnologica e gli elementi non tecnologici con cui entra in contatto dà luogo

almeno a due rischi: la riduzione di tutti i problemi a questioni tecnologiche e la relazione problematica tra il pensiero e l'azione umani, e il calcolo e l'efficacia tecnici. Simondon resta la traccia filosofica. Per il filosofo, infatti, è necessario comprendere la tendenza totalizzante della cibernetica che – incorporando in sé la finalità e la capacità di orientare i mezzi agli scopi – sembra sostituire la capacità umana di giudizio. Anche Ciribini (1971, p. 19) coglie questo pericolo riconoscendo alla tecnologia un ruolo centrale nelle trasformazioni del sistema uomo-natura ma contestandone una concezione mitizzata e onnicomprensiva.

Alla consapevolezza di questi rischi corrispondono risposte filosofiche e progettuali puntuali. Simondon (2021, p. 123) considera la finalità automatizzata nei processi di retroazione «[...] l'aspetto più basso e grossolano della finalità [infatti] se la finalità diventa oggetto di tecnica, vi è un al di là della finalità nell'etica». L'automazione parziale delle finalità, dunque, lascia vedere un aspetto etico superiore, un livello in cui l'uomo è tra le mac-

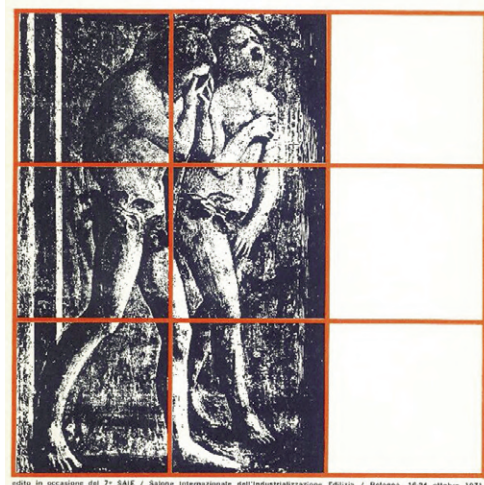
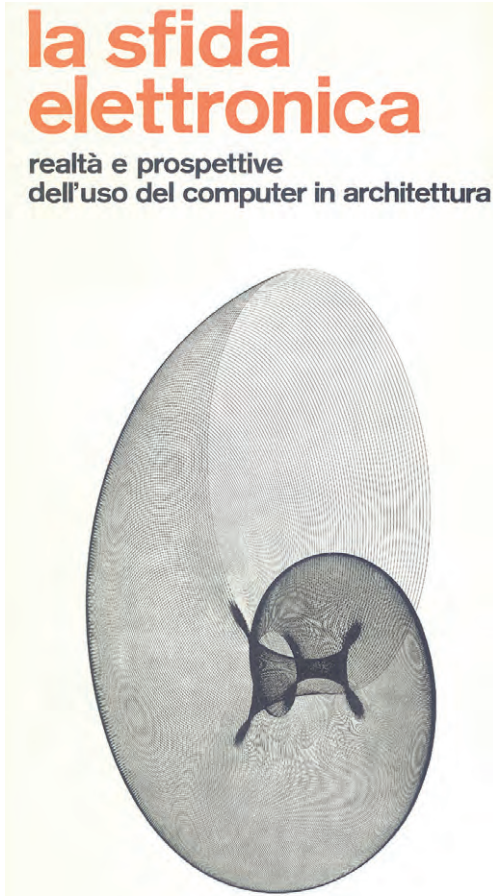


Fig. 1 | Book cover Foti et alii (1969).

Fig. 2 | Covers of Ente Autonomo Fiere di Bologna and Associazione Italiana Prefabbricazione per l'edilizia industrializzata (1971).

chine come portatore di senso. Un portatore capace di avere, impostare e comprendere i problemi e perciò irriducibile alla macchina: «Per la macchina, non vi sono problemi, ma soltanto dei dati che modulano dei trasduttori; [...] Risolvere un problema è poterlo aggirare, è poter operare una revisione delle forme che sono i dati stessi del problema» (Simondon, 2021, p. 161).

Ciribini trae da questa cornice teoretica la sua riflessione progettuale su ciò che è tecnologico e ciò che non lo è distinguendo, ad esempio, due aspetti riguardo alle finalità del progetto: uno intenzionale che ha a che fare con i rapporti interpersonali e la relazione con la natura e che si situerà, quindi, fuori dal dominio tecnologico; l'altro, riguardante invece l'armonizzazione tra mezzi e fini e la strutturazione di relazioni operative, sarà collocato all'interno del dominio tecnologico (Ciribini, 1971, p. 19). A una logica simile risponde anche la differenziazione tra futuri possibili e futuri voluti. I primi riguardano, infatti, la previsione delle condizioni tecniche in base allo stato della tecnologia del tempo; i secondi, invece, sono modalità dell'anticipazione e implicano operativamente la strutturazione di modelli di rappresentazione predittivi, basati su valori auspicabili nel futuro. Questi valori divengono dei vettori capaci di ristrutturare per intero la struttura dei fatti in cui si va a operare proiettando una nuova configurazione potenziale capace di tenere insieme le condizioni tecniche date con le volontà di cambiamento, sociale o ambientale, espresse in un particolare contesto (Ciribini, 1971, p. 20).

Riconosciamo, in queste parole, un'originale riconfigurazione della logica critica di Simondon in cui l'umano ha una capacità meta-tecnica di impostare il problema da risolvere. Una capacità che, attraverso l'assunzione consapevole di un modello, struttura il reticolo dei fatti e delle connessioni significative per una specifica operazione (Fig. 6). Le due dimensioni, tecnologica e umana, non vivono in opposizione, ma in relazione necessaria. Questo nesso innerva la logica progettuale che prevede un'attenzione alle motivazioni e alle esigenze che definiscono un contesto dato. Queste componenti intenzionali, e quindi non tecnologicamente determinabili, devono tradursi prima in dichiarazioni qualitative e poi in criteri quantitativi capaci di denominare specifiche di prestazione di ogni ente tecnologico (Ciribini, 1971, pp. 43, 44; Figg. 7, 8). Un ente che va sempre inserito in un contesto, di cui occorrerà delineare preventivamente le condizioni al contorno, e che avrà generalmente come input le condizioni puntuali esistenti unite alle mete (fini, scopi o obiettivi) poste a ragione del sistema stesso. Questo sistema dovrà compiere un lavoro restituendo un output derivante dalla trasformazione, in senso intenzionale, dell'evoluzione naturale del contesto (Ciribini, 1971, p. 36). Se è vero, allora, che Ciribini considera la cibernetica come modello di analisi, di previsione e di azione adatto alle esigenze della società a lui contemporanea, è altrettanto vero che la dimensione etica, per come l'abbiamo delineata, non viene mai meno.

Le riflessioni fin qui operate sulla cultura tecnologica della progettazione tuttavia non delineano, da sole, un quadro d'insieme più esteso dello scenario in cui tali teorie si sono evolute per poi giungere alla propria piena maturità nei primissimi anni Ottanta. Se infatti il saggio di Ciribini (1984)

intitolato Tecnologia e Progetto – Argomenti di Cultura Tecnologica diffonde nelle Scuole di Architettura la nuova accezione sistemica di cui si è fin qui parlato, anche altri contributi affrontarono proficuamente questo tipo di approccio estendendo l'osservazione e proponendone l'applicazione per contesti produttivi industriali emergenti in relazione al tema abitativo.

È il caso del volume Progettare nel Processo Edilizio – La Realtà come Scenario per l'Edilizia Residenziale (Zaffagnini, 1981) in cui veniva proposta una lettura estremamente articolata delle nuove 'regole del gioco' dello scenario edilizio operativo con la presentazione di un approccio sistemico progettuale in dialogo con l'industria della prefabbricazione (e non solo); una prospettiva questa basata su innovativi approcci essenziali-prestazionali (utili al progettista, ma soprattutto al controllo della qualità finale del progetto e del costruito), su nuove metodologie di progettazione tipologica strettamente correlate alla coordinazione modulare (per l'industria) e sulla composizione dei nuclei familiari di riferimento (per l'adeguato dimensionamento). Il quadro veniva completato anche da specifiche attenzioni verso il rilevamento e la verifica di soddisfazione dell'utenza e in ultimo, verso il controllo della qualità ambientale del progetto. Volendo tentare il riconoscimento di una matrice progettuale di riferimento comune tra gli studiosi e decisiva per le loro nuove prospettive decisionali e progettuali, o di individuare una buona pratica rilevante per i gruppi di ricerca dell'epoca, non si possono certamente non citare le esperienze progettuali sperimentali anglosassoni delle New Towns e specificatamente il caso di Milton Keynes del 1970.

The Plan for Milton Keynes infatti si configurò come esempio credibile e tangibile di un approccio sistemico al tema della progettazione urbana, ma non solo. Fu strumento assai sensibile e capace di tradurre in atto concreto raffinate letture sociali ed economiche, di attivare scrupolose analisi sulla qualità dell'utenza prevista per creare variabilità tipologiche e funzionali d'insediamento auspicabilmente versatili e tipologicamente adattabili al cambiamento. Ciò in particolare cercando di prevedere le ricadute di aspetti prima scarsamente considerati quali l'evoluzione e involuzione del numero di componenti familiari e i possibili effetti delle trasformazioni culturali, allora in atto, su una città in divenire.

Oltre a questo ci fu il significativo apporto di una consapevolezza dei valori etici e della qualità ambientale ed eco-sistemica come co-generatori di una duratura qualità urbana. Di certo fu un modello di riferimento per quanto riguarda i programmi di sperimentazione tipologica e per la definizione di protocolli di verifica del grado di accettazione d'utenza. Fu anche esempio significativo per via dell'introduzione di protocolli di validazione della rispondenza ai livelli di flessibilità abitativa previsti in sede progettuale come evidenziato in un saggio di quegli anni dal titolo Nuovi Modelli Abitativi – L'Attualità della Sperimentazione (Giallocosta, Zaffagnini and Zannoni, 1983). La convergenza tra le riflessioni teoriche ed esempi come questo evidenzia la nitida necessità, prontamente rilevata, di una chiave di lettura etica e ambientale del progetto capace di interagire con gli strumenti innovativi emergenti al fine di intersecare le possibilità tecnologiche con le componenti intenzionali.

Conoscenza cibernetica e nuovi paradigmi progettuali

A distanza di molti anni e in una fase matura della rivoluzione digitale si avverte l'urgente necessità di soluzioni di design capaci di tradurre l'innovazione tecnologica in reale sviluppo sociale (Floridi, 2020). L'avanzata della tecnologia digitale ha interrogato le discipline del progetto in vari modi: promuovendo un'epistemologia e un'estetica computazionali (Carpo, 2017), modificando gli stessi processi della progettazione e aprendo nuove possibilità per una relazione responsiva tra ambiente costruito e contesto (Ratti and Claudel, 2017). In questo sviluppo storico – che, non senza fratture, dalla teoria dell'informazione e dal pensiero cibernetico conduce verso il pensiero computazionale e i sistemi di intelligenza artificiale – il paradigma cibernetico di cultura tecnologica ha mantenuto una certa rilevanza (Sweeting, 2019; Picon and Hill, 2019; Hammoudi, 2021).

Il discorso contemporaneo sulla relazione tra cibernetica e progetto si misura, ovviamente, con un contesto tecnologico diverso da quello indagato da Ciribini. L'esplosione della potenza computazionale dei calcolatori e la riduzione delle loro dimensioni, i processi di realizzazione di sistemi di intelligenza artificiale sempre più articolati e le possibilità aperte dall'IoT in termini di raccolta e condivisione di dati sono solo alcuni dei passaggi decisivi che informano l'attuale ambiente tecnologico (Floridi, 2014). Evoluzioni che hanno portato a esperienze di 'collaborative design' e aperto prospettive ottimali in termini di integrazione di approcci, ma che evidenziano anche rischi di determinismo e autoreferenzialità tecnologica (Giallocosta, 2011). In questo contesto la riflessione progettuale sulla cibernetica contemporanea può essere definita neo-cibernetica non tanto per delle modifiche strutturali al sistema teorico, quanto per una sua applicazione in un contesto tecnologico mutato. Questo approccio appare scisso in due poli opposti: da una parte la cibernetica intesa come scienza del controllo capace di armonizzare tecnologia, natura e società; dall'altra essa diviene la giustificazione teorica di una società del controllo ubiquo e della conservazione dello status quo (Contingent Collettive, 2021).

La prospettiva critica nei confronti della cibernetica è fortemente presente negli studi urbani e, in maniera particolare, nel lavoro analitico attorno al paradigma Smart City. La cibernetica viene indicata come una delle fonti concettuali principali del discorso sulla smartness (Townsend, 2014; Picon and Hill, 2019; Hnilica, 2019). Questa matrice si rivelerebbe tanto nell'intendere la città come un sistema di flussi informativi, quanto nel considerare la possibilità di una regolazione autonoma, tecnica e oggettiva del sistema urbano. Questa cultura tecnologica applicata alla pianificazione urbana è stata oggetto di molte critiche: l'impossibilità di restituire la complessità urbana basandosi solo sui dati, la difficoltà di intendere la città come un tutto omogeneo con un'efficienza complessiva misurabile, una concezione passiva e coercitiva della cittadinanza (Fig. 9), la prevalenza di un approccio tecno-centrico inteso come un soluzionismo anche nell'ambito sociale e ambientale che Antoine Picon (2015) definisce esplicitamente come 'neocybernetic temptation' (Fig. 10).

In maniera speculare, nell'ambito della riflessione sulla connessione tra tecnologia e progetto architettonico, un approccio cibernetico diviene

terreno comune in cui ottimizzare l'impatto ambientale della progettazione: «[...] la nuova ecologia incorpora i tradizionali meccanismi di feedback dei sistemi naturali, dalla crescita delle piante alla migrazione degli insetti, sfruttando al contempo le potenzialità del mondo digitale, estese nel contesto dell'Antropocene. Gli ecosistemi funzionano soltanto quando ogni elemento è responsivo al contesto: i sensori digitali, gli attuatori e le intelligenze artificiali possono contribuire al raggiungimento di questo obiettivo» (Ratti and Belleri, 2021, p. 12). Questa nuova ecologia cibernetica sembra poter aprire una strada verso un design integrato di tecnologia e natura, favorito dall'applicazione di sensori e di intelligenze artificiali, e capace di apportare cambiamenti senza precedenti alla progettazione.

Entrambe le prospettive pensano la cibernetica come logica della totalità, come meta-linguaggio capace di armonizzare le differenze; in un caso questa armonizzazione viene interpretata come imposizione riduzionista, nell'altro come possibilità di relazione sinergica tra le parti. Appare necessario, in tale contesto, considerare il fatto che la cibernetica, come tutti i saperi, ha subito un'evoluzione storica non soltanto legata a logiche di sviluppo tecnologico, ma soprattutto a crisi epistemologiche interne. La distinzione tra cibernetica di primo ordine – basata su comportamenti adattivi, feedback negativo e stabilità dei sistemi – e quella di secondo ordine basata sull'auto-poiesi e sull'impossibilità di un osservatore esterno al sistema appare decisiva.

Le applicazioni contemporanee che abbiamo considerato sembrano molto più legate alla prima cibernetica e alla sua pretesa di una armonizzazione delle differenze – sia quelle tra uomo e natura sia quelle tra le parti della realtà urbana – comprese in una logica più ampia e di sistema. Tuttavia questo è «[...] un uso ristretto della cibernetica – un uso pragmatico, terapeutico – quello di mobilitarla come arte della gubernatio/navigatio dei sistemi complessi, come coordinamento e guida delle parti in funzione del tutto e come frame omoeotecnico di un echaking illuminato» (Fabbris, 2021b, p. 46). Qui si ambisce ad un sapere senza residui, alla rifunzionalizzazione di tutte le esternalità negative, ad una computazione armonizzante capace di salvare la nave spaziale terra pensata da Buckminster Fuller (Fabbris, 2021b; Fig. 11).

Una seria presa in considerazione della cibernetica di secondo ordine deve fungere da contrappeso realistico a questo olismo, utopico o distopico, a seconda del punto di vista. Ogni sistema si deve intendere come una differenza operativa che non entra in comunicazione con gli altri sistemi in base a una struttura parte/tutto, ma attraverso una continua emergenza di polarità sistema/ambiente capaci di entrare, o non entrare, in risonanza reciproca (Fabbris, 2021a). Quando questa risonanza perdura nel tempo si ottiene una composizione che, a sua volta, opera come un sistema che può entrare in relazione con altri sistemi. «Nessun direttore d'orchestra a comporre queste voci, nessun kubernetes in grado di dirigerle pilotarle, armonizzarle» (Fabbris, 2021b, p. 49).

In quest'ottica il progetto esce dalla prospettiva della totalità – da una cibernetica intesa come sinergia totale o come controllo ubiquo – per entrare nella faticosa prospettiva della mediazione, una mediazione intesa come progettazione di in-

terfacce tra sistemi, capaci di accoppiamenti funzionali situati e contestualizzati. In questa prassi 'artigianale', in questo olismo della differenza e della mediazione, il progettista può recuperare quel ruolo tra le macchine, né sopra né sotto di esse, ricercato da Simondon e Ciribini. Questo è un patto di intendere per macchina, sulla scorta della riflessione di Ashby (1971), un modo di comportamento, una struttura operativa componibile con altre attraverso la progettazione di interfacce capaci di sfruttare le energie delle differenti chiusure operative (Fabbris, 2021b).

Conclusioni | Questo approccio alternativo al pensiero cibernetico può essere una via per entrare in dialogo con alcune recenti proposte progettuali molto critiche riguardo alla cultura tecnologica che abbiamo analizzato. In un recente lavoro Pablo Sendra e Richard Sennett (2020) delineano un discorso sulla progettazione a prima vista distantissimo dalle considerazioni fatte, tuttavia alcuni termini tradiscono la possibilità di un terreno comune. I due autori intendono, infatti, progettare sistemi aperti che ammettano conflitto e dissonanza, superare i concetti di equilibrio e interazione tra sistemi concedendo grande importanza a meccanismi di feedback nel dialogo con la comunità. È agevole riscontrare in questi termini la curvatura dei discorsi cibernetici che abbiamo analizzato.

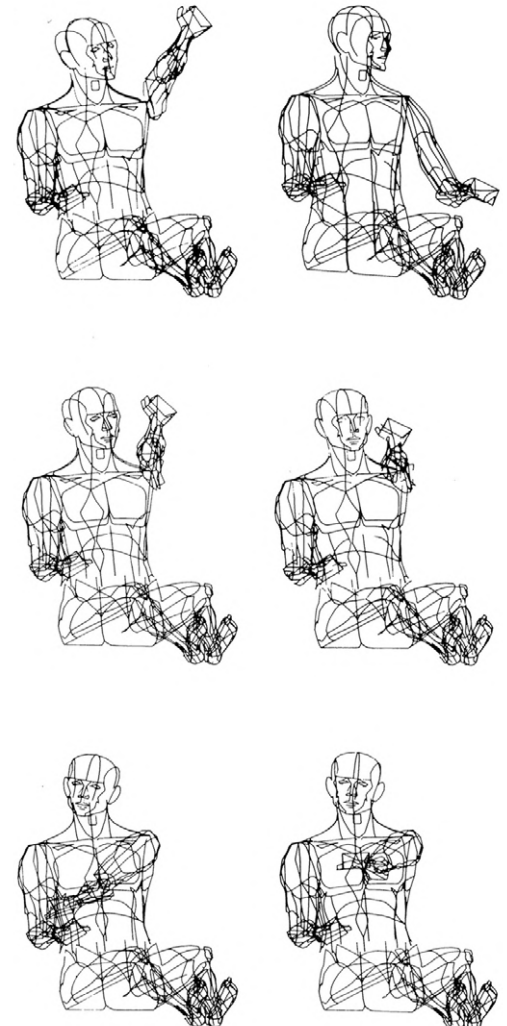
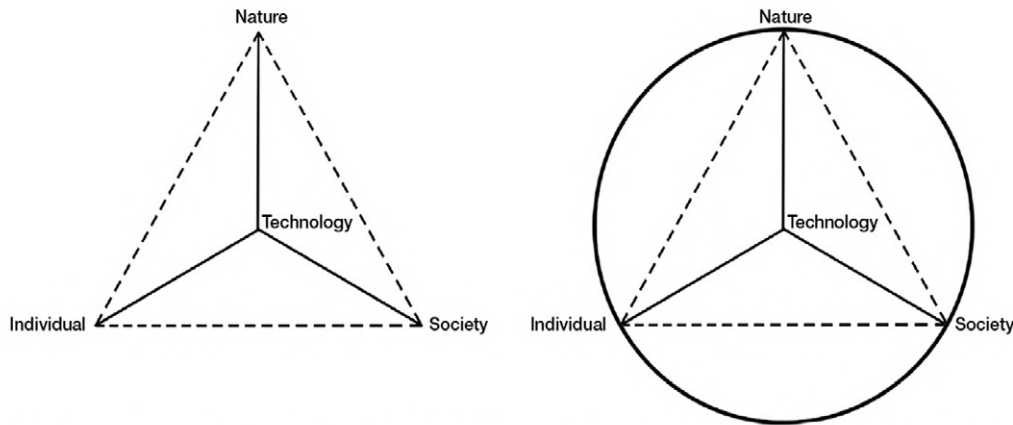


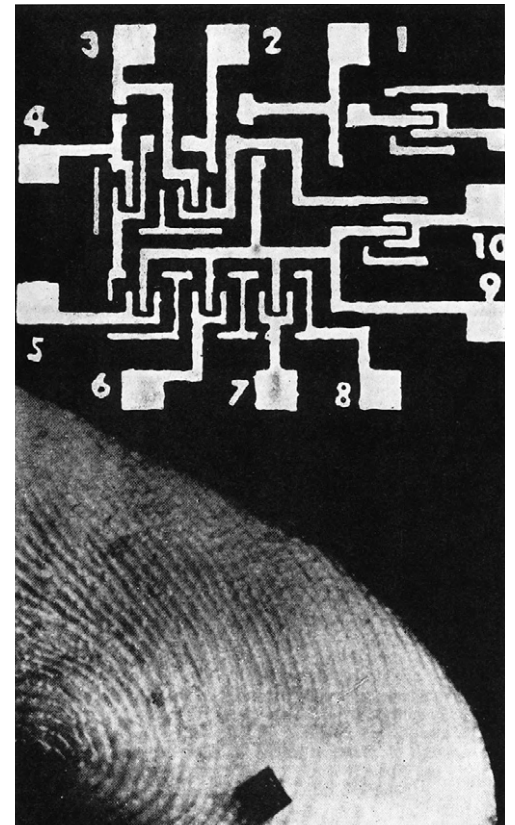
Fig. 3 | Ergonomics studies made with Computer-Aided Design (source: Foti et alii, 1969).



The Nature-Individual-Society-Technology system can be divided into six bipolar subsystems that facilitate systemic functions and the ecological engineering is able to integratively control the entire system through the relations between the functions defined within the six bipolar subsystems. (Ciribini, 1971)

Fig. 4 | The Nature/Person/Society/Technology system by Ciribini, edited by the authros (source: Ente Autonomo Fiere di Bologna and Associazione Italiana Prefabbricazione per l'edilizia industrializzata, 1971).

Fig. 5 | 'Transistors and integrated circuits': the first integrated circuits, invented in the late 1950s, were marketed in 1961, starting the era of personal computers (source: Ente Autonomo Fiere di Bologna and Associazione Italiana Prefabbricazione per l'edilizia industrializzata, 1971).



Non è un caso, allora, che il tema forte di questa prospettiva progettuale siano i margini, i confini: «We must intervene on the margins, on the places where various isolated places meet, where there is the potential for interaction between these urban areas and the people who lives in Richard [Sennett], in analogy with natural ecosystems explains this process of intervention on the margins as a turning closed 'boundaries', which are limits with no interaction between the two sides, into permeable 'borders', which are full of exchange» (Sendra and Sennett, 2020, p. 77). Questi limiti attivi sono i confini tra sistemi, tra macchine per come le abbiamo definite. Progettare spazi, infrastrutture, architetture per questi luoghi significa mediare tra i differenti, creare le condizioni di possibilità per dischiudere l'energia urbana potenziale negli attriti (Fig. 12) assumendosi anche il rischio del fallimento e della rottura.

Quindi progettare il disordine significa, in primo luogo, riconoscere l'alterità delle intelligenze che innervano il contesto urbano e avere una visione positiva dei conflitti non distruttivi che possono crearsi tra esse. Da queste premesse discende un design dello spazio fisico e digitale capace di tracciare margini in grado di favorire un contatto produttivo tra le differenze e non percorsi di relazione predeterminati, immuni da qualunque interpretabilità e possibilità di fraintendimento. Con le parole di Sennett «Rather than a lockstep march toward achieving a single end, we should look at the different and conflicting possibilities which each stage of the design process might entail. Keeping these possibilities intact, leaving conflictual elements in play, opens up the design systems» (Sendra and Sennett, 2020, p. 34).

Questo lavoro sui margini è la traduzione progettuale del design di interfacce per la risonanza visto nella cibernetica di secondo ordine: il progettista, allora, deve tracciare insiemi di sistemi,

mediando tra le energie contrastanti e spesso contraddittorie e costruendo membrane capaci di massimizzarle. Progettare il disordine potrebbe essere la strada per riconciliare le istanze di coordinazione del pensiero cibernetico con la poiesi, le differenze e il localismo che emergono nella relazione contemporanea tra abitante ed architettura, tra cittadino e città. Una riconciliazione da pensare in un contesto economico, ambientale, sociale ed epistemologico mutato rispetto a quello degli anni Settanta e che quindi deve ridiscutere profondamente le variabili e i modelli di sinergia. Tuttavia è necessario mantenere la lucidità predittiva e la capacità di sintesi di modelli operativi che hanno contraddistinto quelle esperienze: qualità date da una metabolizzazione consapevole e critica dell'innovazione tecnologica. Un approccio necessario nel contesto neocibernetico digitale contraddistinto da una ridondanza informativa e bisognoso dunque di una rinnovata cultura tecnologica capace di indirizzarne i processi.

Un esempio su cui questo tipo di logica potrebbe trovare la sua applicazione riguarda l'implementazione di intelligenze artificiali in ambito urbano (Cugurullo, 2021b; Tab. 1). Strumenti che si basano su sistemi AI come le auto a guida autonoma, i robots e software agents con varie applicazioni rappresenteranno certamente una sfida decisiva per l'architettura e per l'urbanistica (Cugurullo, 2021b). Tuttavia l'applicazione delle Intelligenze Artificiali Urbane (IAU) ha già ricevuto critiche che ne contestano la poca presa in considerazione dei contesti e l'essenza riduzionista (Bratton, 2021; Lynch and Del Casino Jr, 2020). Sono già riscontrabili casi in cui l'inserimento di strumenti che utilizzano sistemi di AI in ambito urbano, come robots o auto a guida autonoma, ha posto problemi rilevanti riguardo alla composizione sociotecnica degli ambienti.

Si pensi ad esempio al caso di San Francisco, luogo simbolo della rivoluzione digitale, in cui dal 2017 è stata proibita l'implementazione di street robots per la consegna di cibo e bevande. Questa integrazione artificiale dello spazio è fallita proprio per il fatto di non riuscire a dialogare produttivamente con i margini della propria azione tecnica: la conformazione fisica dei marciapiedi, non troppo ampi, e l'importanza della walkability per la cittadinanza (While, Marvin and Kovacic, 2021). Casi come questo stanno facendo emergere la necessità di un ruolo costruttivo per le scienze sociali sia nel design della tecnologia sia nella sua implementazione (Cohen et alii, 2020) e di un processo volto a favorire la capacità della tecnologia di dialogare con l'ambiente non tecnologico in cui è inserita.

Tuttavia una delle sfide più interessanti in futuro riguarda i City Brains. Questa tecnologia, progettata da Alibaba nel 2016 per la gestione del traffico ad Hangzhou (Figg. 13, 14), consiste nell'implementazione di una AI all'interno di una piattaforma digitale urbana (Caprotti and Liu, 2020). Questo 'cervello', acquisendo dati da sensori disseminati per la città, è in grado di armonizzare i flussi e le interazioni tra agenti urbani (Fig. 15). L'interesse per questa tecnologia risiede nella sua capacità di essere applicata a diverse situazioni urbane, caratteristica, questa, che fa prefigurare la possibilità di sfruttarne le capacità previsionali e decisionali nel campo della pianificazione e della gestione urbana (Cugurullo, 2021a). La prospettiva, tecnologicamente possibile, è quella di una gestione unificata e artificiale della realtà urbana (Cugurullo, 2021b), il ritorno del sogno cibernetico di primo ordine a cui abbiamo fatto riferimento. In questo scenario, nei termini di Ciribini, sarà decisivo declinare la relazione tra questo futuro possibile e i nostri futuri voluti, tra le capacità predittive della tecnologia e la capacità progettuale ed etica di informare l'innovazione tecnologica.

L'implementazione di una differente declinazione del paradigma cibernetico e la prospettiva del progetto del disordine possono rappresentare elementi importanti per una visione che non si rassegna a ridurre la realtà urbana a mera fonte di dati gestita artificialmente, ma che ambisca, invece, a un inserimento dei 'cervelli' urbani artificiali all'interno dell'articolata geografia di intelligenze, di margini e di relazioni che costituiscono l'ecosistema urbano. Il carattere sperimentale e non ancora sedimentato di questa applicazione della AI, specialmente in occidente, aumenta l'interesse per la comprensione del contesto teorico attraverso il quale differenti società dovranno fare i conti con le sue applicazioni.

L'orizzonte di cultura tecnologica per il progetto che qui si è delineato – attraverso un recupero della prospettiva sistemica ciribiniana, un differente approccio alla cibernetica e un'attenzione alla prospettiva del progetto del disordine – vuole contribuire alla riflessione che appronterà gli strumenti teorici e concettuali per implementare questo tipo di tecnologie. La relazione instaurata da Ciribini e altri tra tecnologia ed etica, declinata in un differente contesto tecnologico e sviluppata tramite le innovazioni teoriche descritte, resta una fonte a cui attingere in questa nuova sfida. Il caso di Milton Keynes, seppur lontano nel tempo, deve ricordarci come l'innovazione deve porsi al servizio delle istanze spesso non perfettamente armonizzabili dei modi di abitare e vivere propri degli umani e delle esigenze delle altre intelligenze, vegetali e animali ad esempio, mantenendo sempre aperte le possibilità di cambiamento: devono essere in prospettiva le molteplici logiche della città a influenzare la linearità e l'efficienza di strumenti tecnologici come ad esempio City Brains e non il contrario. L'attenzione alla storia progettuale apre delle tracce per raccogliere questa sfida e se attualizzata potrebbe rivelarsi, ancora una volta, un prezioso strumento di orientamento per immaginare il futuro.

Looking to the past with the purpose of understanding some future dynamics, the Italian context of the late 1970s and early 1980s seems very similar to the current situation regarding the atmosphere and ambitious expectations. As today by the term 'innovability'^{@@1} we intend the urgency of creating a strategic bond between ecology and digital technology, it is important to clarify a difference between this meaning and the model prevailing in the aforementioned years. In those years, strategic complementarity was certainly sought, however, it did so by emphasising the relationship between academia and industry regarding the development of efficient design, production and management models and the education of new professionals. Giuseppe Ciribini (cit. in Turchini, 2013, p. 155), a pioneer of Architectural Technology, translated this need into the necessity of educating technical intellectuals: experts capable of bringing culture and theoretical understanding into the world of production and, at the same time,

able to integrate the intellectual and critical dimension with the achievement of concrete technical objectives.

These ways of thinking were an effective answer to some of the complex challenges of society at the time: «[...] world which was experiencing a deep transformation, starting to acknowledge the scarcity of resources and the must for finding solutions even before understanding the causes of those phenomena» (Antonini, 2013, p. 44). This response progressively contributed to improving the connection between technology, design and environment, obtaining the models we know and use today and paving the road to management skills and a new sensibility. Some of the most eminent experts in this field – in the fair competition of ideas – have distinguished themselves with some applications of the above-mentioned principles and their ability to shape new and open visions of the future using design as a definition and experimentation tool for new industrialisation models. These dynamics stood at the service of a new frontier of national innovation capable of connecting new information technologies, cybernetics, philosophy, semiotics and ergonomics.

In books such as *La Sfida Elettronica* (Foti et alii, 1969; Fig. 1) and especially *Un Pianeta da Abitare* (Ente Autonomo Fiere di Bologna and Associazione Italiana Prefabbricazione per l'edilizia industrializzata, 1971; Fig. 2) the analysis stands out for its modernity and brilliance. In fact, the technological context was interpreted in an actual interdisciplinary way through studies capable of bringing into dialogue advanced technological knowledge in the field of building technology with specific cultural backgrounds in order to frame new drivers for innovation. In the first book, the

authors discuss the rise of computer use in architecture and the new opportunities connected to this innovation (Fig. 3).

By reading these considerations today, they seem predictive of practices and realities that have become, in the following decades, a common ground for designers and scholars. Moreover, these considerations are surprising for their ability to be strongly contemporary for their lucid analysis of potential application problems and implicit risks related to the use of technology. In the second book, specifically, in the first section entitled *Il Boomerang Tecnologico*, the predictive abilities of the working group clearly emerge. An ability that would be useful even nowadays to map out research directions that can forecast the implications of technological development in the coming decades. The book was a manifesto of a holistic vision of the future in which technology design and industry could engage in a dialogue. Moreover, it outlined the basis of the sustainability concept in building technology paving the way for environmental design by introducing, in the detailed disciplinary evolutionary framework, technological subjects.

In *Una Nuova Tecnologia per l'Ambiente Costruito*, Ciribini (1971) laid the theoretical bases of this vision, outlining a cybernetic approach capable of translating the technological culture of his time into the language of design, without being overwhelmed by it. In the second work, *Gestione della Tecnologia*, Baglioni Moretti, Baracchi, Bazzanella, Foti, Pasquali and Zaffagnini highlight the potentials and problems generated by self-referential or profit-driven technological innovation that does not consider social, environmental and ethical issues. This text provides a clear analysis of the

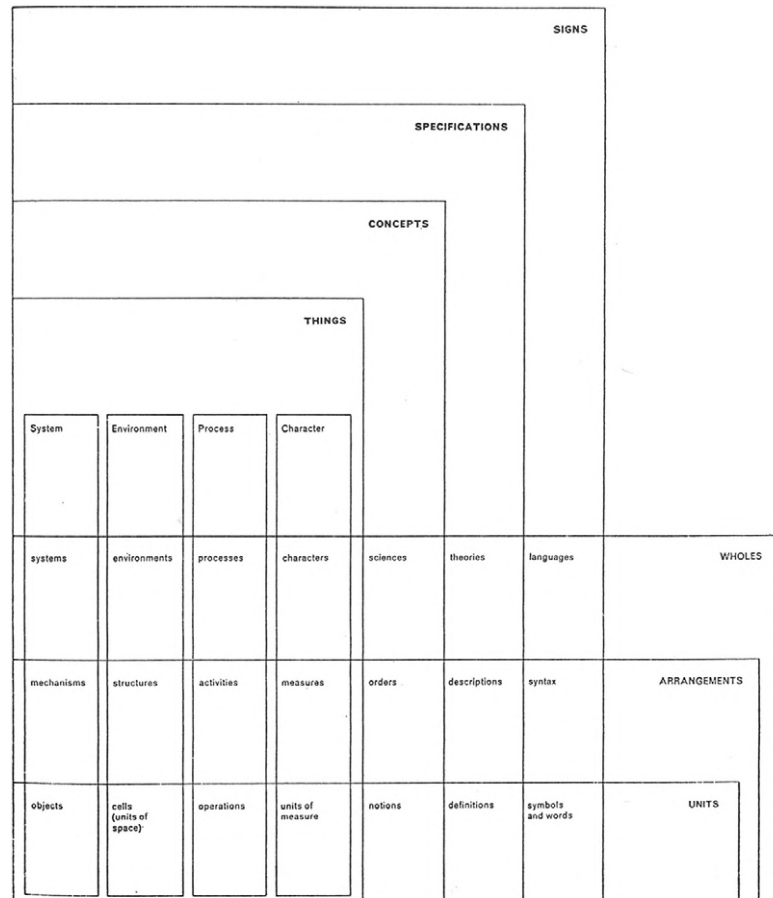


Fig. 6 | 'Connections between signs, specifications, concepts and objects, image taken by (source: Martin, 1971).

- A Site**
- B Structural support**
- C Vertical envelope**
- D Space divider**
- E Base platform**
- F Intermediate platform**
- G Horizontal envelope**
- H Vertical circulation**
- I Environmental control**
- J Servicing**
- K External environment**

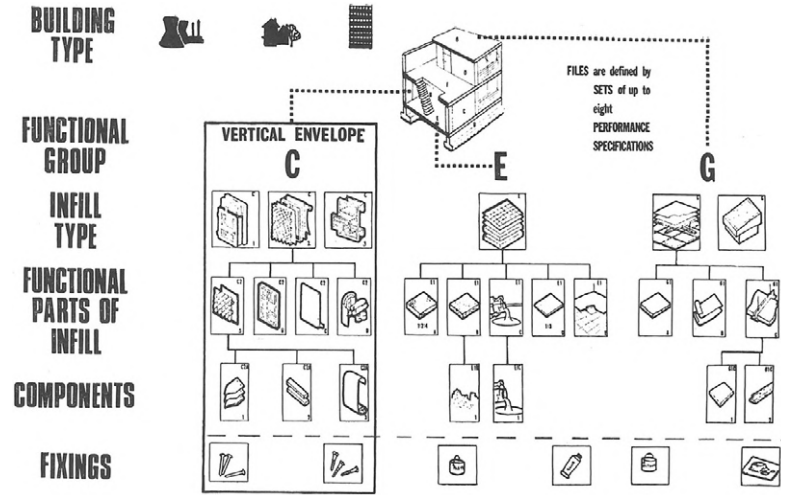
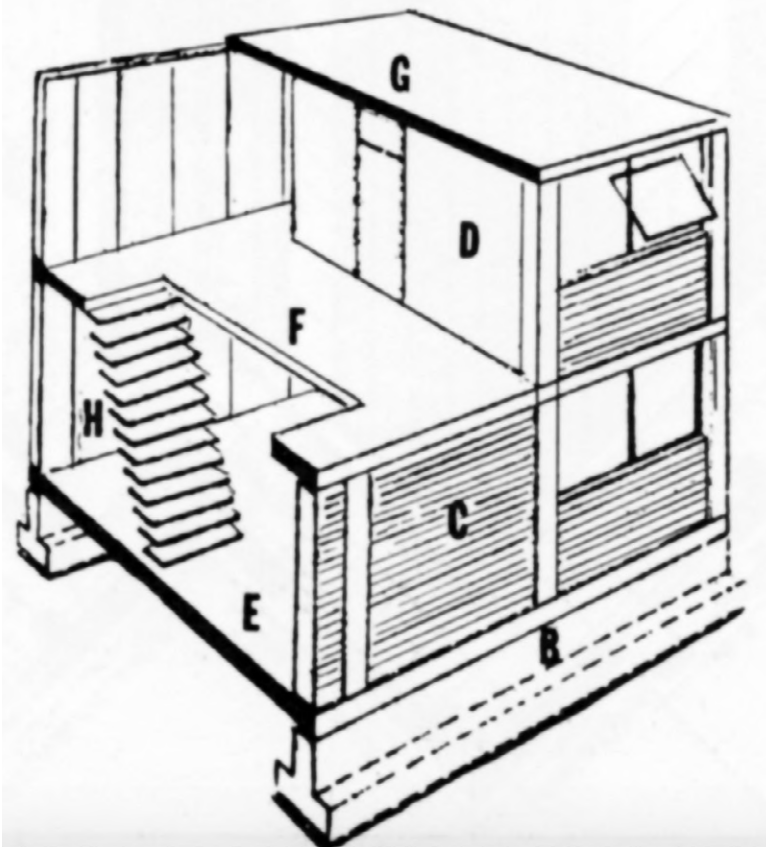


Fig. 7, 8 | Innovative experiences in the use of computers to design and construction management carried out by West Sussex Country Architect's Department together with the Department of Building Science of the University of Liverpool (UK) in the late 1960s: 'Classifications of components into functional groups'; 'Sub-classification of components according to performance specifications', an approach anticipating the contemporary Building Information Modeling – BIM (source: Foti et alii, 1969).

Next page

Fig. 9 | The predominant use of technology-based approaches in the relations with citizens in the 1970s is well demonstrated by these English illustrations of that period (source: Ente Autonomo Fiere di Bologna and Associazione Italiana Prefabbricazione per l'edilizia industrializzata, 1971).

Fig. 10 | The main problematic aspects of the Smart City paradigm described in literature from the beginning of the 2000s until the present day are both criticisms and indications of possible future research directions for the application of digital technologies in urban areas (credit: the Authors, 2022).

situation together with a pragmatic analysis of the risks of this type of technological progress. Risks that involved both humans and the environment (Baglioni Moretti et alii, 1971, pp. 59-61). In fact, it is through this work that Ciribini's systemic approach is deployed through the shaping of methodological supports for design focused both on human needs and on the abilities (currently called skills) of a new generation of technicians (Fig. 4).

Based on this premise, this paper analyses the connection between the cybernetic model and design, comparing the perspective of the mentioned working group with the ideas of the philosopher Gilbert Simondon. This comparison – based on theoretical comparison and case studies – will outline both a connection between philosophy and design, and the space left in it for the ethical, and not merely technical, dimension of the pro-

ject. Then, some contemporary uses of the cybernetic paradigm in the field of urban and architectural design will be analysed, highlighting its limits and opportunities. Finally, a relationship between an alternative interpretation of cybernetics and a specific contemporary design approach will be described. A connection aimed at contributing to the contemporary debate on the theoretical framework through which to deploy digital technology in the built environment.

A new model of reality | As mentioned before, it was mainly Ciribini, among the others, to codify a theoretical perspective in which technology is considered a necessary, but not sufficient, element of design innovation. Indeed, Ciribini identified through the concept of alienation the incompatibility between technology, environment and

society to which we have already referred. He borrows Simondon's philosophical reflections from 1958 (Simondon, 2021) and thus intends alienation as the lack of 'intelligence of the technical object' of the actors involved in technical processes – workers, capitalists and specialised technicians (Ciribini, 1971, p. 15). There is an asymmetry between the level of technological development and the ability of the actors involved in it to engage with it. This asymmetry inhibits the acquisition of that 'intelligence of the technical object' to which Ciribini is referring to. This interpretation connecting Simondon and Ciribini is based on their mutual understanding of technology as a process inherent to human praxis, a story that from the instrument and the tool comes to the machine.

The issue then becomes creating a synchronised connection with the new machine age (Fig.

5). This new age is represented by the second industrial revolution described by Norbert Wiener in 1965 and characterised by the possibility of replacing mechanically certain operations traditionally attributed to the human brain (Wiener, 1968). These new machines communicate with their environment through sensors and regulate their goal-directed behaviour through feedback mechanisms. The concepts of system, information and environment become the components of a new interpretation of reality. Ciribini (1971, p. 29) considered cybernetics, in its technological context, as a systemic and structural philosophy capable of providing a new scientific model. He understood that information was likely to be the raw material of future societies, and systems theory could be the rationale for it. The systems theory, hence, becomes the model to establish a dialogue between nature, humans and society employing technology (Ciribini, 1971, p. 18). Cybernetics becomes both the paradigm through which we interpret reality and the system of assumptions and rules that guides our rational agency (Ciribini, 1971, p. 35; Hammoudi, 2021).

A Technological Culture for the Project and a Project for a Technological Culture | The relationship between this technological culture and non-technological elements implies at least two risks: firstly, reducing all problems to technological issues; secondly, the uncertain relationship between human action and thought and the computational power and effectiveness of machines. Simondon is still a role model. In fact, according to the philosopher, it is necessary to beware of the all-encompassing claim of cybernetics, which seems capable of substituting the human capacity for judgement by technologically arranging the ability to orient means to ends, that is, goal-directed behaviour. Ciribini (1971, p. 19) also understood this danger. This author, in fact, gave technology a key role in the transformations of the human-nature system but contested its mythical and all-encompassing conception.

The awareness of these risks is addressed through philosophical analysis and design proposals by Ciribini and Simondon. The philosopher considered the specific finality automatable through feedback processes as the most inferior, most primitive aspect of finality if finality becomes an object of technics, then there is something beyond finality in ethics (Simondon, 2021). The partial automation of finality reveals a superior ethical aspect. A level in which humans are among the machines as meaning-giver. Actors capable of setting and understanding problems, hence irreducible to the machine. According to Simondon (2021) for the machine, there are no problems, only data that modulate the transducers; to solve a problem is to be able to step over it, to be capable of recasting the forms that are given within the problem and in which it consists.

The awareness of these risks is addressed through philosophical analysis and design proposals by Ciribini and Simondon. The philosopher considered the specific finality automatable through feedback processes as the most inferior, most primitive aspect of finality if finality becomes an object of technics, then there is something beyond finality in ethics (Simondon, 2021). The partial automation of finality reveals a superior ethical aspect. A level in which humans are among the machines as meaning-giver. Actors capable of setting and understanding problems, hence irreducible to the machine. According to Simondon (2021) for the machine, there are no problems, only data that modulate the transducers; to solve a problem is to be able to step over it, to be capable of recasting the forms that are given within the problem and in which it consists.

Ciribini employed this theoretical framework in his considerations regarding the relationship between technological and non-technological aspects of design. The author distinguished two different types of finalities. The first is intentional, it concerns interpersonal interactions and the relationship between humans and nature and is therefore not technologically manageable. The second, on the contrary, concerns the harmonisation of

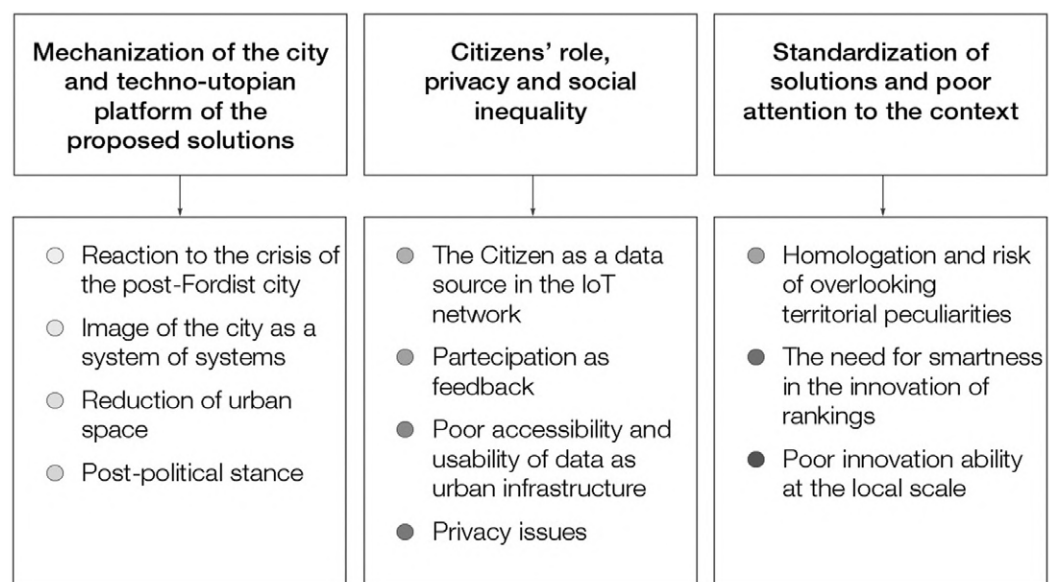
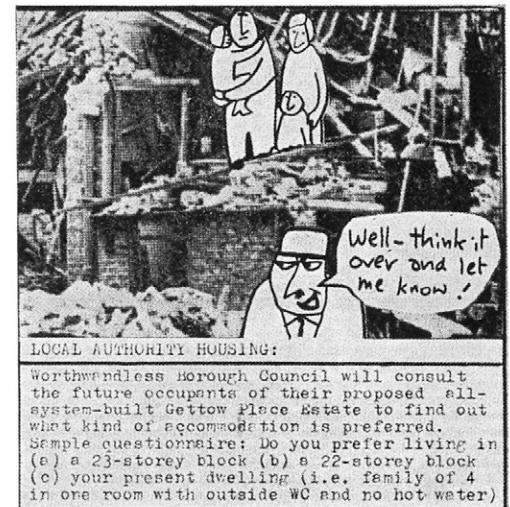
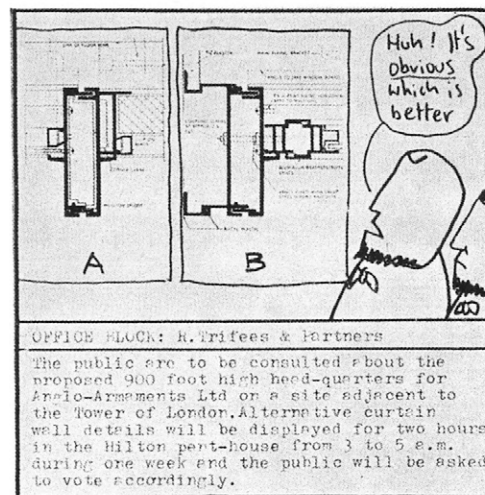
means to ends and the shaping of operational connections and is therefore technologically manageable (Ciribini, 1971, p. 19). Ciribini also distinguished between possible and desired futures through analogous rationale. The first ones concern the prediction of future technical conditions based on the state of technology at a certain time. The second ones, on the other hand, are modes of anticipation founded on predictive models shaped on the basis of desirable values. These values become vectors capable of completely reshaping the reticulum of facts in which we operate by projecting a new potential structure that must be able to combine the given technical conditions and the desire for social and environmental change expressed in a specific context (Ciribini, 1971, p. 20).

These words reveal an original adaptation of Simondon's critical logic in which humans own a meta-technical capability to frame the problem to be solved. A capability that, by consciously assuming a model, organises the network of relevant facts and connections for a specific operation (Fig. 6). Hence, the technological and human dimensions are not in opposition but in a necessary relationship. This relationship characterises a design logic aware of the motivations and needs that define a specific context. These intentional, non-technologically determinable aspects must first be translated into qualitative assertions and

then into quantitative criteria capable of determining the performance specifications of a technological entity (Ciribini, 1971, pp. 43, 44; Figg. 7, 8). These technological elements must always be situated in a context already marked by certain conditions. The technological component will have as input the aforementioned conditions and objectives (purposes, goals or aims) and as output an intentional transformation of the trajectory of the natural evolution of the context (Ciribini 1971, p. 36). On the bases of these considerations, it is possible to claim that Ciribini certainly considered cybernetics as a model of analysis, prediction and action, yet in his approach, the ethical dimension we described never loses importance.

These considerations on the technological culture of design are not enough to characterise the context in which these theories evolved and came to maturity in the 1980s. Certainly, Ciribini's essay *Tecnologia e Progetto – Argomenti di Cultura Tecnologica* (1984) spreads the new systematic approach in the schools of architecture. However other works also effectively address the same subject by broadening its application to the emerging industrial processes in housing.

It is the case of *Progettare nel Processo Edilizio – La Realtà come Scenario per l'Edilizia Residenziale* (Zaffagnini, 1981) in which an extremely articulated interpretation of the 'new rules of the



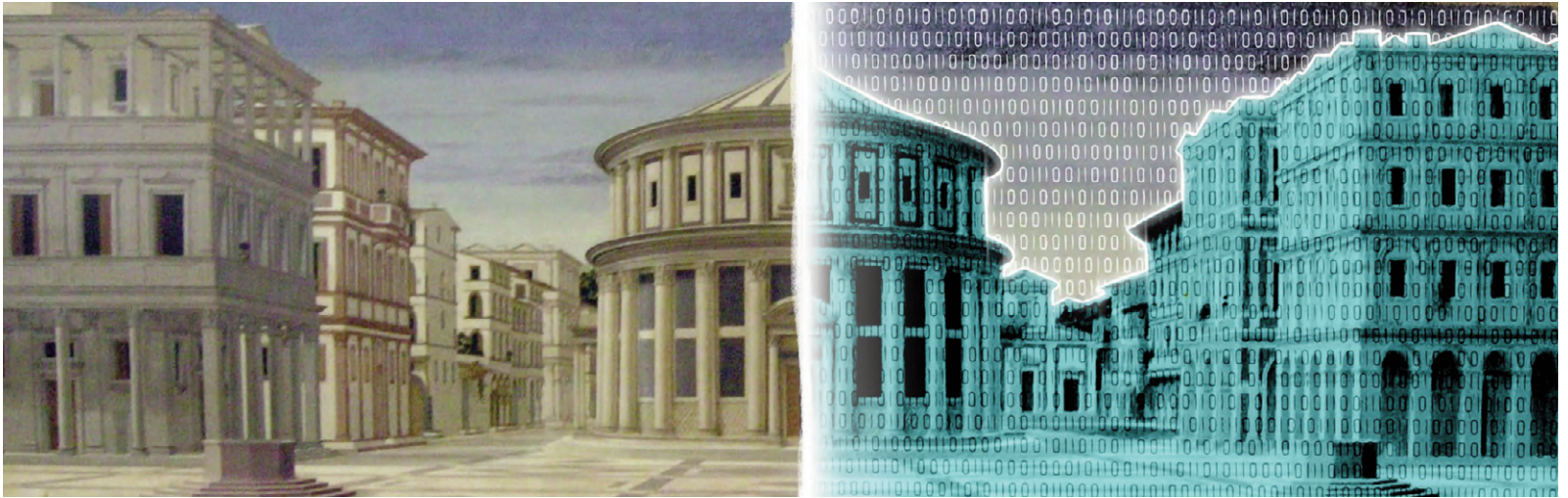


Fig. 11 | Ideal-digital city (credit: E. Zaffagnini, 2020).

Fig. 12 | An example of outskirts regeneration in the eastern suburbs of Nice, France: the regeneration of the Paillon riverbanks envisaged its reorganization, with protected cycling roads and a 'FreeTness' area, with free open-air fitness equipment for the citizens of the district (credit: T. Zaffagnini, 2021).

game' for building was proposed. Rules coming from a systemic vision can also interact with the prefabrication industry (although not exclusively with it). A perspective based on innovative need-performance approaches (useful to the designer, but mostly to the final quality control of the project and the built environment), on new methodologies of typological design strictly linked to modular coordination (for the industry) and finally on the new composition of family units (for suitable design and appropriate housing sizing). In this milieu, the experimental project of the English New Towns, and in particular of Milton Keynes (1970), represented a benchmark and an inspiration model, or at least an example of best practice, for the new design logic shared by many of the scholars mentioned above.

The Plan for Milton Keynes was a tangible example of a systemic approach to urban design, but it was not just this. The project was also a sensitive tool able to translate social and economic analyses into design practice, moreover, it originated refined and meticulous research on the quality of the intended occupancy to design versatile settlement typological solutions. This research and design have been carried out by trying to forecast the effects of often underestimated aspects: evolution

and involution of the number of family members and the possible effects of cultural transformations on the development of urban fabric.

Moreover, this approach was extremely responsive to ethical and environmental aspects. These ecosystemic aspects were understood as decisive factors in achieving long-lasting urban quality. Milton Keynes was certainly a model for typological experimentation programs and for establishing protocols for dynamic verification of the relationship between inhabitants and the built environment; it also was a significant example of the introduction of validation protocols concerning housing flexibility levels established in the design phase. These aspects were highlighted in an essay entitled *Nuovi Modelli Abitativi – L'Attualità della Sperimentazione* (Giallocosta, Zaffagnini and Zannoni, 1983). The concurrence between theoretical considerations and examples like this attests a need, grasped at the time, to integrate design with ethical and environmental perspectives. An approach capable of using the most innovative tools to intersect the technological possibilities of design with its intentional components.

Cybernetic knowledge and new paradigms in design | After many years and in a mature stage

of the digital revolution, there is a need to find design solutions that can transform technological innovation into social development (Floridi, 2020). The progress of digital technology has interrogated the disciplinary epistemology and aesthetics (Carpo, 2017); modifying design processes by unlocking new possibilities for responsive relationships between built environment and context (Ratti and Claudel, 2017). In this historical development – which through modifications and evolutions leads from information theory and cybernetics to computational thinking and artificial intelligence – cybernetics has always been relevant (Sweeting, 2019; Picon and Hill, 2019; Hammoudi, 2021).

Obviously, the contemporary debate on the relationship between cybernetics and design is situated in a new technological background. This is characterized by the exponential increase in computational power combined with the decreasing dimension of devices, the ability to produce extremely articulated and effective AI systems, and the new data collection and sharing possibilities opened up by the IoT (Floridi, 2014). These developments have certainly fostered experiences of 'collaborative design' and interdisciplinary thinking; however, they have also highlighted the risk of technologically deterministic and self-referential approaches (Giallocosta, 2011). Current considerations on cybernetics in architecture and urban planning can be defined as neo-cybernetics not for structural or theoretical modification, but because of its implementation in a changed technological background. This approach seems divided into two opposite positions: on the one hand, cybernetics as a science of control capable of harmonizing technology, nature and society; on the other hand, cybernetics as a theoretical justification for a society of ubiquitous control and preservation of the status quo (Contingent Collective, 2021).

The critical perspective on cybernetics is strongly present in urban studies, especially in the theoretical work on the Smart City paradigm. Cybernetics is considered one of the main conceptual sources of smartness (Townsend, 2014; Picon and Hill, 2019; Hnilica, 2019). The influence of this source emerges in the conception of the city as a system of informational flows and in conceiving the possibility of autonomous, technical and objective regulation of the urban system. The

application of this specific technological culture to urban planning has received strong criticisms: the impossibility of understanding urban complexity only by data, the difficulty of conceiving the city as a homogeneous whole endowed with overall efficiency, a passive and coercive conception of citizenship (Fig. 9). This predominance of a technocentric approach intended as a solutionism also in social and environmental contexts is explicitly defined by Antoine Picon (2015) as 'neocybernetic temptation' (Fig. 10).

In a specular way, cybernetics is also interpreted as a common ground wherein to optimize the integration of environment and design: «The new ecology incorporates the traditional feedback mechanisms of natural systems – from plant growth to insect migration – but moreover, it harnesses the power of the digital world to extend them into the Anthropocene. Ecosystems only function when every element is responsive to the rest, and digital sensors, actuators, and artificial intelligence can contribute to achieving that objective» (Ratti and Belleri, 2021, p. 18). This new cyber ecology seems to pave the way for an integrated design of technology and nature by the implementation of sensors and AI systems and capable of disrupting innovation in design and urban planning.

However, in both perspectives, cybernetics is considered as a logic of the whole, as a meta-language capable of harmonizing differences. In the former perspective, this harmonization is interpreted as a reductionist imposition, while in the latter as the possibility of a synergic relationship between the parts. In this situation, it seems necessary to understand that cybernetics, like all forms of knowledge, has changed historically and not only in relation to technological development but also as a result of internal epistemological crises. The difference between first-order cybernetics (based on adaptive behaviours, negative feedback and system stability) and second-order cybernetics (based on autopoiesis and the impossibility of having an outside observer) is pivotal.

The interpretations we have considered seem to refer more to first-order cybernetics as a framework capable of harmonizing differences (both between humans and nature and between the parts of the city) within a broader comprehensive logic. However, this is «[...] a narrow use of cybernetics – a pragmatic, therapeutic use – to mobilize it as the

art of gubernatio/navigatio of complex systems, as the coordination and steering of the parts in accordance to the whole, and as the homoeotechnical frame of an enlightened ecotaking» (Fabbris, 2021b, p. 46). The ideal is a residue-free knowledge capable of refunctionalising all negative externalities, a harmonized computation capable of rescuing the Spaceship Earth conceived by Buckminster Fuller (Fabbris, 2021b; Fig. 11).

A serious consideration of second-order cybernetics should be insurance from this holism, which can be either utopian or dystopian depending on the point of view. In this perspective, each system must be considered as an operational difference that does not communicate with other systems following a part/whole structure, but in a continuous emergence of system/environment polarities capable of mutually connecting or not connecting (Fabbris, 2021a). When this resonance persists over time it results in a compound that in turn operates as a system and can relate to others. «No conductor composes these voices, no kubernetes can conduct, guide and harmonise them» (Fabbris, 2021b, p. 49).

In this approach, the design moves out of the perspective of totality – it abandons cybernetics as full synergy or ubiquitous control – and steps into the challenging perspective of mediation that is intended as the design of interfaces between systems capable of functional, situated, and contextualized pairings. In this 'craft' practice, in this holism made of difference and mediation, designers can regain their role among machines (neither above nor under) suggested by Simondon and Ciribini. This is possible if by the term 'machine', following Ashby's interpretation (1971), we intend a mode of behaviour, a structure that is modular with others through the design of interfaces capable of using the energies of different operational closures (Fabbris, 2021b).

Conclusions | This different approach to cybernetics can enter into dialogue with some design perspectives that are quite critical of the technological culture we have been discussing. In a recent book, Pablo Sendra and Richard Sennett (2020) outlined a design perspective at first glance very different from the ideas analysed in this paper. However, some concepts suggest possible common ground. In fact, the two authors thought

of an open system design capable of acknowledging conflict and dissonance by going beyond the concepts of balance and interaction with a major emphasis on feedback systems to foster dialogue with communities. It is quite easy to see in these terms a similarity with the cybernetic approach outlined here.

In fact, the central subjects of this design perspective are the margins and borders: «We must intervene on the margins, on the places where various isolated places meet, where there is the potential for interaction between these urban areas and the people who live in Richard [Sennett], in analogy with natural ecosystems explains this process of intervention on the margins as a turning closed 'boundaries', which are limits with no interaction between the two sides, into permeable 'borders', which are full of exchange» (Sendra and Sennett, 2020, p. 77). These active limits are the borders between systems, and between machines as we have defined them. Designing spaces, infrastructure and architecture for these places means mediating between the differences, shaping the enabling conditions to release the potential energy in the frictions (Fig. 12) while also taking the risk of failure and rupture.

Therefore, designing disorder primarily means recognizing the otherness of the forms of intelligence that inhabit the urban space and having a positive view of the non-destructive conflicts between them. From these premises derives a design of physical and digital space capable of tracing margins that encourage productive interactions between differences and not predetermined paths free from interpretability and misunderstanding. As declared by Sennett «Rather than a lock-step march toward achieving a single end, we should look at the different and conflicting possibilities which each stage of the design process might entail. Keeping these possibilities intact, leaving conflictual elements in play, opens up the design systems» (Sendra and Sennett, 2020, p. 34).

This craft on borders is the design interpretation of interface shaping that has been analysed concerning second-order cybernetics: hence, the designer has to draw sets of systems by mediating between conflicting and often contradictory energies. He needs to shape membranes capable of maximizing these energies. Designing disorder could be the way to reconcile the instances of coordination

Levels	Name	Operational Capability	AI Types/Quality	Development status or applications
4	Artificial Super Intelligence	AI replicates the multi-faceted intelligence of human beings and becomes exceedingly better at everything it does	Super Artificial Intelligence	Only hypothetical concept at this stage
3	Artificial General Intelligence	All agents can learn, perceive, understand and perform functions completely like human beings	Mindful AI	A concept that is in progress at the moment
2	Artificial Narrow Intelligence	Represents all of the existing AIs today	Independent AI	Chatbots, virtual assistants, self-driving vehicles, etc.
1	Reactive Machines	Represents all of the existing AIs today	Reactive Machines	IBM's Deep Blue, etc.

Tab. 1 | The various levels of artificial intelligence that have currently been realized and theorised. The urban use of these tools will have to face both the already-known typologies and the perspectives that this research field is generating (credit: the Authors, based on Yigitcanlar and Cugurullo, 2020).

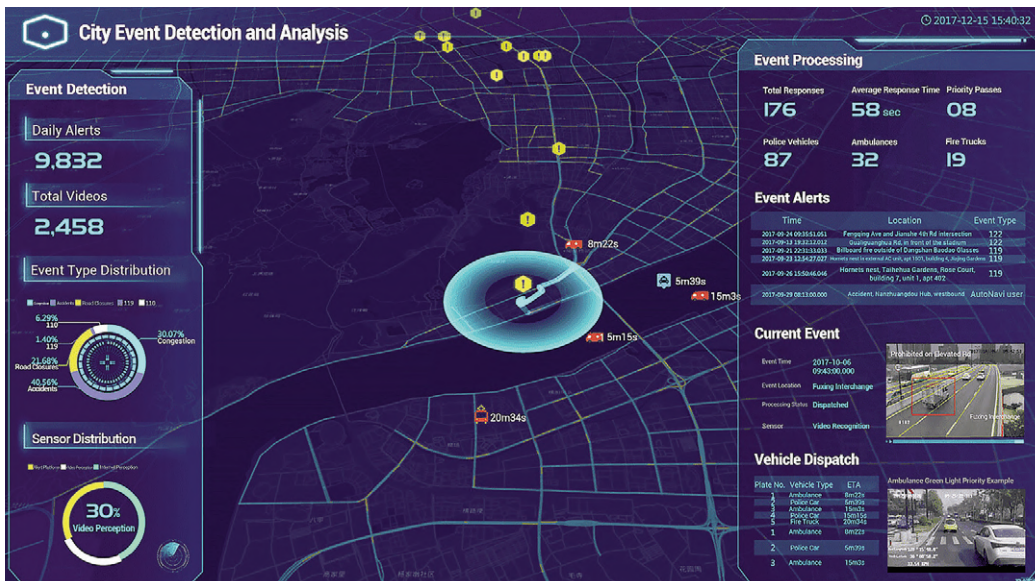


Fig. 13 | Visualization of traffic flows in Hangzhou through Alibaba's city brain technology: the system analyses real-time data and coordinates about a thousand traffic signals to prevent traffic jams (source: edition.cnn.com; credit: VCG/VCG via Getty Images).

Fig. 14 | City brain technology showcase in Hangzhou in 2019: the exhibition is designed to make stakeholders involved with the functioning and achievable outcomes through this system (source: exh.hktdc.com).

Fig. 15 | City brain dashboard with detailed descriptions of urban events recorded by the myriad sensors scattered around the city. The data can cover a variety of event categories (e.g., traffic flows, weather conditions, presence of certain types of vehicles) and the analysis can then benefit from an articulated interpretive framework; the detection provides both an interactive graphical visualization and a list of information that contributes to city detection (source: wired.co.uk; credit: ALIBABA).

inherent in cybernetics and the craftsmanship of connecting differences. A manner of putting design in dialogue with the particular needs and localism emerging in the contemporary relationship between inhabitant and architecture, between citizen and city. This reconciliation has to be framed in an economic, environmental, social, and epistemic context mutated since the 1970s and has to deeply reconsider variables and synergy models. However, it is necessary to maintain the anticipatory vision and capacity for synthesis that had distinguished those experiences. These qualities were provided by a critical understanding of technological innovation. An approach much needed in the contemporary digital neo-cybernetic scenario distinguished by information redundancy and in seeking a new technological culture capable of directing processes.

The logic described in this paper can be useful in the ongoing debate on applications of artificial intelligence (AI) in urban contexts (Cugurullo, 2021b; Tab. 1). Autonomous vehicles, robots, software agents, and other AI-based devices are posing a decisive challenge to architecture and urbanism (Cugurullo 2021b). However, the implementation of Urban Artificial Intelligence (UAI) has already received criticism for its weak capacity for dialogue with contexts and a reductionist approach (Bratton, 2021; Lynch and Del Casino Jr, 2020). There are already some cases in which the implementation of urban AI-based systems, such as robots or autonomous vehicles, has generated serious issues in the socio-technical texture of urban spaces.

In San Francisco – an iconic city in the digital revolution – street robots have been banned for food and beverage delivery since 2017. This digital integration of space has failed because of its inability to engage productively with the margins of its technological action: the narrow space of sidewalks and the relevance of walkability for inhabitants (While, Kovacic, and Marvin 2021). These kinds of examples highlight the necessity of a constitutive role for social sciences in both the design and implementation of technology (Cohen and alii, 2020), a role that can foster the ability to meaningfully integrate technology into the urban fabric.

In this light, one of the most fascinating challenges concerns City Brains. A technology designed by Alibaba in 2016 to manage traffic in Hangzhou (Fig. 13, 14) by embedding an AI within a specific urban digital platform (Caprotti and Liu 2020). This 'brain', acquires data from sensors spread across the city and can harmonize flows generated among urban actors (Fig. 15). The interest in this technology concerns its applicability in different urban domains. This flexibility foreshadows the possibility of using its predictive and decision-making skills in urban planning and management (Cugurullo 2021a). It would become technologically conceivable to have artificial and unified management of urban reality (Cugurullo, 2021b). A sparkling new version of the first-order cybernetic dream we referred to. In this perspective, retrieving Ciribini's ideas, it will be crucial to understand the relationship between this possible future and our desired ones. It will be pivotal to understand the relationship between these predictive skills of technology and the ethical and design capacity of designers and communities.

The alternative approach to the cybernetic paradigm sketched before and designing disorder are interesting elements regarding the discus-

sion of a different vision of cities and therefore for a different implementation of these technologies; a vision that does not reduce the city to an artificially managed data source but contributes to the inclusion of these 'artificial brains' within the articulated geography of the forms of intelligence that inhabit urban areas.

The aim is to start to work on the boundaries and contacts between different forms of intelligence made even more interesting by the fact that city brains technology is still in transition, especially in the West. It will be interesting to under-

stand how different societies will implement these kinds of technologies in the future. This paper has outlined a contribution to the discussion on a new technological culture for design. The retrieval of some of Simondon's and Ciribini's ideas, the discussion of the cybernetic approach and the perspective of designing disorder are elements that point in this direction. The case study of Milton Keynes even if distant in time should remind us that innovation must always dialogue with contexts made up of non-harmonizable instances, ways of living, relationships between forms of in-

telligence and tendency to change. In the future, it needs to be the multitude of logics of the city that influence technological tools such as City Brains and not only vice versa. The history of design provides insights that it is possible to update to address the challenges opened up by the relationship between technological innovation and technological culture.

Acknowledgements

The paper is the result of a joint reflection by the Authors.

Note

1) Innovability[®] is a registered trademark by Enel S.p.A. – All rights reserved to Enel S.p.A.

References

- Antonini, E. (2013), "La memoria del futuro – Tavola rotonda su Giuseppe Ciribini | Memory of the future – Round table discussion about Giuseppe Ciribini", in *Techne / Journal of Technology for Architecture and Environment*, vol. 6, pp. 43-47. [Online] Available at: doi.org/10.13128/Techne-13454 [Accessed 13 October 2022].
- Ashby, W. R. (1971), *Introduzione alla cibernetica*, Giulio Einaudi Editore, Torino.
- Baglioni Moretti, A., Baracchi, P., Bazzanella, L., Foti, M., Pasquali, E. and Zaffagnini, M. (1971), "La gestione della tecnologia", in Ente Autonomo Fiere di Bologna and Associazione Italiana Prefabbricazione per l'edilizia industrializzata (eds), *Un pianeta da abitare – Requisiti e prestazioni per l'ambiente costruito*, Bologna, pp. 55-146.
- Bratton, B. (2021), "AI urbanism – A design framework for governance, program, and platform cognition", in *AI & Society*, vol. 36, pp. 1307-1312. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s00146-020-01121-9 [Accessed 13 October 2022].
- Caprotti, F. and Liu, D. (2020), "Platform Urbanism and the Chinese smart city – The co-production and territorialisation of Hangzhou City Brain", in *GeoJournal*, vol. 87, pp. 1559-1573. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s10708-020-10320-2 [Accessed 13 October 2022].
- Carpò, M. (2017), *The Second Digital Turn – Design Beyond Intelligence*, MIT Press, Cambridge (MA).
- Ciribini, G. (1971), "Una nuova tecnologia per l'ambiente costruito", in Ente autonomo Fiere di Bologna and Associazione Italiana Prefabbricazione per l'edilizia industrializzata (eds), *Un pianeta da abitare – Requisiti e prestazioni per l'ambiente costruito*, Ente Fiere di Bologna, Bologna, pp. 13-54.
- Ciribini, G. (1984), *Tecnologia e progetto – Argomenti di cultura tecnologica*, CELID, Torino.
- Cohen, T., Stilgoe, J., Stares, S., Akyelken, N., Cavoli, C., Day, J., Dickinson, J., Fors, V., Hopkins, D., Lyons, G., Marres, N., Newman, J., Reardon, L., Sipe, N., Tennant, C., Wadud, Z. and Wigley, E. (2020), "A constructive role for social science in the development of automated vehicles", in *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, vol. 6, article 100133, pp. 1-8. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.trip.2020.100133 [Accessed 13 October 2022].
- Contingent Collective (2021), "Environments (Out) of Control – Notes on Architecture's Cybernetics Entanglements", in *Footprint*, vol. 15, issue 1, pp. 81-99. [Online] Available at: doi.org/10.7480/footprint.15.1.4942 [Accessed 13 October 2022].
- Cugurullo, F. (2021a), "One AI to rule them all – En Chine, l'unification de la gouvernance urbaine par l'intelligence artificielle | One AI to rule them all – The Unification of Chinese Urban Governance under", in *geopolitique.eu*, September 2021. [Online] Available at: geopolitique.eu/articles/one-ai-to-rule-them-all-the-unification-of-chinese-urban-governance-under/ [Accessed 13 October 2022].
- Cugurullo, F. (2021b), *Frankenstein Urbanism – Eco, Smart and Autonomous Cities, Artificial Intelligence and the End of the City*, Routledge, London. [Online] Available at: doi.org/10.4324/9781315652627 [Accessed 13 October 2022].
- Ente Autonomo Fiere di Bologna and Associazione Italiana Prefabbricazione per l'edilizia industrializzata (eds) (1971), *Un pianeta da abitare – Requisiti e prestazioni per l'ambiente costruito*, Ente fiere di Bologna, Bologna.
- Fabbris, L. (2021a), "Le differenze ecologiche – Sistema e ambiente tra General System Theory e Second-Order Cybernetics", in *Nóema*, vol. 12, pp. 1-13. [Online] Available at: doi.org/10.13130/2239-5474/15656 [Accessed 13 October 2022].
- Fabbris, L. (2021b), "Verso un'ecologia generale – Per una cibernetica delle differenze", in *Philosophy Kitchen*, vol. 15, pp. 37-50. [Online] Available at: doi.org/10.13135/2385-1945/6214 [Accessed 13 October 2022].
- Floridi, L. (2014), *The Fourth Revolution – How the Infosphere is Reshaping Human Reality*, Oxford University Press, Oxford (UK).
- Floridi, L. (2020), *Il verde e il blu – Idee ingenue per migliorare la politica*, Raffaello Cortina, Milano.
- Foti, M., Zaffagnini, M., Ente autonomo Fiere di Bologna and Associazione Italiana Prefabbricazione per l'edilizia industrializzata (1969), *La sfida elettronica – Realtà e prospettive dell'uso del computer in architettura*, Ente Fiere di Bologna, Bologna.
- Giallocosta, G. (2011), "Tecnologia dell'Architettura e Progettazione Tecnologica | Architectural Technology and Technological Planning", in *Techne / Journal of Technology for Architecture and Environment*, vol. 2, pp. 24-31. [Online] Available at: doi.org/10.13128/Techne-9923 [Accessed 13 October 2022].
- Giallocosta, G., Zaffagnini, M. and Zannoni, G. (1983), "Nuovi modelli abitativi – L'attualità della sperimentazione", in Baglioni, A., Ente Autonomo Fiere di Bologna and Associazione Italiana Prefabbricazione per l'edilizia industrializzata (eds), *Politica edilizia e gestione del territorio – Edilizia, innovazione, crisi economica*, Ente Fiere di Bologna, Bologna, pp. 103-112.
- Hammoudi, T. (2021), "Architecture as an Information Machine", in *Footprint*, vol. 15, n. 1, pp. 111-126. [Online] Available at: doi.org/10.7480/footprint.15.1.4984 [Accessed 13 October 2022].
- Hnilica, S. (2019), *The metaphor of the city as a thinking machine – A complicated relationship and its backstory*, in Figueiredo, S. M., Krishnamurty, S. and Schroeder, T. (eds), *Architecture and the Smart City*, Routledge, London, pp. 68-85.
- Lynch, C. R. and Del Casino, V. J. Jr (2020), "Smart spaces, information processing, and the question of intelligence", in *Annals of the American Association of Geographers*, vol. 110, issue 2, pp. 382-390. [Online] Available at: doi.org/10.1080/24694452.2019.1617103 [Accessed 13 October 2022].
- Martin, B. (1971), *Standard and building*, RIBA, London.
- Picon, A. (2015), *Smart Cities – A Spatialised Intelligence*, John Wiley and Sons, UK.
- Picon, A. and Hill, T. (2019), *Is the city becoming computable?*, in Figueiredo, S. M., Krishnamurty, S. and Schroeder, T. (eds), *Architecture and the Smart City*, Routledge, London, pp. 29-43.
- 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 13 October 2022].
- Ratti, C. and Claudel, M. (2017), *La città di domani – Come le reti stanno cambiando il futuro urbano*, Einaudi, Torino.
- Sendra, P. and Sennett, R. (2020), *Designing Disorder – Experiments and Disruptions in the City*, Verso, London-New York.
- Simondon, G. (2021), *Del modo di esistenza degli oggetti tecnici* [or. ed. *Du Mode d'existence des objets techniques*, 1958], Orthotes, Napoli-Salerno.
- Sweeting, B. (2019), "Why Design Cybernetics?", in Fischer, T. and Herr, C. (eds), *In Design Cybernetics*, Springer, Cham, pp. 185-194. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-030-18557-2_10 [Accessed 13 October 2022].
- Townsend, A. M. (2014), *Smart Cities – Big Data, Civic Hackers, and the Quest for a New Utopia*, W. W. Norton and Company, New York.
- Turchini, G. (2013), "Giuseppe Ciribini o dell'Intellettuale tecnico", in Borgia, D. (ed.), *L'opera di Giuseppe Ciribini*, FrancoAngeli, Milano, pp. 153-155.
- While, A. H., Marvin, S. and Kovacic, M. (2021), "Urban robotic experimentation – San Francisco, Tokyo and Dubai", in *Urban Studies*, vol. 58, issue 4, pp. 769-786. [Online] Available at: doi.org/10.1177/0042098020917790 [Accessed 13 October 2022].
- Wiener, N. (1968), *La cibernetica – Controllo e comunicazione nell'animale e nella macchina*, Il Saggiatore, Milano.
- Yigitcanlar, T. and Cugurullo, F. (2020), "The Sustainability of Artificial intelligence – An Urbanistic Viewpoint from the Leans of Smart and Sustainable Cities", in *Sustainability*, vol. 12, issue 20, article 8548, pp. 1-24. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su12208548 [Accessed 13 October 2022].
- Zaffagnini, M. (ed.) (1981), *Progettare nel processo edilizio – La realtà come scenario per l'edilizia residenziale*, Edizioni Luigi Parma, Bologna.

CRUSCOTTI A SERVIZIO DELLA GOVERNANCE

Monitoraggio di indicatori di prestazione e indicatori aggregati

GOVERNANCE DASHBOARDS

Monitoring of key performance and aggregate indicators

Adriano Magliocco, Maria Canepa

ABSTRACT

La proliferazione delle politiche di smart city in tutto il mondo negli ultimi anni ha visto le infrastrutture digitali per la raccolta e la elaborazione di dati svolgere ruoli sempre più centrali nella governance contemporanea della città. I 'cruscotti', strumenti atti a comunicare lo stato e lo sviluppo della città attraverso l'esposizione di dati, possono avere un ruolo interessante nel supportare la realizzazione di iniziative da parte delle Amministrazioni pubbliche, oltre che nel renderne i cittadini maggiormente consapevoli. Aggiornamento, trasparenza e significatività dei dati riferiti a indicatori prestazionali più o meno condivisi sono punti critici nella realizzazione di cruscotti efficaci. L'aggregazione e pesatura dei dati e l'uso dello storytelling di dati possono trasformare la mera esposizione di dati grezzi in concetti più comprensibili e facili da leggere, non senza qualche rischio.

The recent increase of smart city policies around the world has meant that digital infrastructures play increasingly central roles for data collection and processing in contemporary city governance. The 'dashboards', as tools to communicate the state and development of the city through the display of data, can play an interesting role in supporting the implementation of initiatives by public administrations, as well as in making citizens more aware of them. Updating, transparency and meaning of the data, are critical points in the creation of effective dashboards, referring to shared key performance indicators. The aggregation and weighting of data and the use of data driven storytelling can transform the mere display of raw data into more understandable and easier to read concepts, however, not without some risk.

KEYWORDS

indicatori di prestazione, cruscotti, digitalizzazione, città intelligenti, storytelling di dati
key performance indicators, dashboard, digitalization, smart city, data driven storytelling



Adriano Magliocco, Architect and PhD, is a Full Professor at the Architecture and Design Department, University of Genoa (Italy), where he is the Deputy Director. He conducts research mainly on environmental sustainability in architecture at different design scales. E-mail: adriano.magliocco@unige.it

Maria Canepa is an Adjunct Professor and Postdoctoral Researcher Fellow at the Architecture and Design Department, University of Genoa (Italy). Research interests are sustainable design and Near Zero Energy Building, BIM, strategies to address climate change and environmentally assessed design. E-mail: maria.canepa@unige.it

L'Agenda 2030 (UN, 2015) per lo Sviluppo Sostenibile, adottata da tutti gli Stati membri delle Nazioni Unite nel 2015, fornisce un Piano condiviso per la pace e la prosperità per il pianeta e le generazioni presenti e future. L'Agenda definisce i 17 Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (SDGs – Sustainable Development Goals), che sono un urgente invito all'azione da parte di tutti i Paesi, sviluppati e in via di sviluppo. Questi obiettivi mirano a salvaguardare la salute delle persone e dell'ambiente, a far fronte ai cambiamenti climatici, a realizzare un'efficace transizione ecologica verso le fonti rinnovabili e a rendere le città più resilienti (Fig. 1). Per monitorare lo stato di avanzamento di questi obiettivi, sempre più enti pubblici e privati, in particolare municipalità ma non solo, si stanno dotando di sistemi digitali per attuare strategie di comunicazioni tramite l'evidenziazione del monitoraggio di indicatori di prestazione (KPIs – Key Performance Indicators; Alrashed, 2020). Tra quelli maggiormente utilizzati troviamo 'cruscotti' (dashboard) in grado di descrivere dinamicamente lo stato di alcuni aspetti significativi della qualità ambientale, sociale ed economica di un ambito socio-spaziale, ad esempio un Comune, un quartiere, una struttura produttiva o educativa, ecc. (Young and Kitchin, 2020).

Per comprendere e monitorare meglio i progressi nel raggiungimento degli SDGs è necessario identificare parametri di valutazione comparabili e universalmente condivisi. I KPIs possono definire in modo realistico e misurabile i fattori essenziali relativi a un oggetto specifico, come la riduzione del cambiamento climatico o il raggiungimento della resilienza delle comunità. I KPIs sono uno strumento importante per definire politiche ambientali, in particolare per gli Enti pubblici, che possono utilizzarli per individuare obiettivi realistici per il raggiungimento degli SDGs e capire in quali settori sono maggiormente carenti (Schokker, Kamilaris and Karatsiolis, 2022; Fig. 2). Pertanto, per le Amministrazioni comunali, il monitoraggio e il raggiungimento di tali obiettivi rivestono un ruolo centrale nelle strategie di governance locale e multilivello (Hughes, Sarah and Tozer, 2020).

Rispetto ai monitoraggi a scala nazionale, quelli a scala locale possono essere estremamente significativi nella mappatura delle effettive differenze riscontrate a scala regionale e metropolitana. Tuttavia, è necessario selezionare insieme di indicatori con unità di misura adeguate e fare riferimento a banche dati che offrano valori su piccola scala, aggiornati e aggiornabili in futuro. Al fine di identificare un quadro di informazioni statistiche condivise come strumento per monitorare e valutare i progressi verso gli obiettivi dell'Agenda 2030, la Commissione statistica delle Nazioni Unite ha istituito l'Inter Agency Expert Group on SDG che ha definito una serie di oltre 200 indicatori. Anche l'Istituto Nazionale di Statistica (ISTAT) è coinvolto nella produzione di misure per il monitoraggio dei progressi verso gli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile; le misure prendono in considerazione gli indicatori definiti dal Gruppo di Esperti insieme ad alcuni specifici dati di contesto nazionale, derivanti anche dal framework BES (Benessere Equo e Sostenibile).¹

Il concetto sempre più diffuso di 'smart city', che spesso si associa a un'idea di città intelligente, digitalizzata e monitorata, non è di natura univoca. Secondo Zygiaris (2013), tale concetto si è

talmente esteso, anche con accezioni molto diverse, da portare ad autodichiarazioni frequenti e spesso arbitrarie da parte di numerose città, sebbene esistano svariati quadri di riferimento e valutazione per individuarne le caratteristiche (Smart City Reference Model), basati principalmente su dati statistici e informazioni quantitative, come ad esempio l'Intelligent Community Forum² o l'indice Smart Cities³ (Caragliu, Del Bo and Nijkamp, 2011). Ciò che sicuramente ha progressivamente permesso lo sviluppo delle smart city è la disponibilità di banche dati (su diversi temi quali traffico, qualità ambientale, sicurezza, ecc.) e la possibilità, attraverso le reti in fibra e wi-fi, di riversare tali dati da una piattaforma all'altra; lo strumento per la visualizzazione dei dati viene definito cruscotto, o 'city dashboard' (Fig. 3).

Le tecnologie dei sensori e dell'IoT (Internet of Things) stanno acquisendo un'importanza sempre maggiore nel monitoraggio di fenomeni urbani, raccogliendo, elaborando, analizzando e integrando grandi quantità di dati. Tale importanza è testimoniata dagli ingenti investimenti effettuati da colossi della tecnologia nel realizzare prototipi di sistemi di rilevamento e interconnessione dati. Questi sistemi stanno aiutando diverse città in tutto il mondo a integrare l'IoT nei propri sistemi di gestione al fine di migliorare le politiche, i servizi e le attività urbane (D'Amico et alii, 2020). Affinché l'uso dell'IoT sia efficace è necessario un monitoraggio continuo attraverso piattaforme di interconnessione e cruscotti in grado di restituire quanto rilevato. La disponibilità di molti dati mette in rilievo più chiaramente quali siano le sfide che le città devono affrontare nel gestire i servizi urbani e, qualora i cruscotti siano accessibili e di facile lettura, hanno la potenzialità di migliorare il senso di responsabilità e consapevolezza dei cittadini sulle questioni urbane.

Obiettivo dell'articolo è quello di affrontare il tema della rappresentatività degli indicatori e la loro conseguente organizzazione in cruscotti, con particolare riferimento agli indicatori di prestazione relativi agli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile. La trattazione si riferisce a casi studio riportandone le metodologie impiegate, i risultati raggiunti, i principali ambiti di applicazione, i futuri sviluppi, sottolineando le criticità implicite connesse alla selezione dei KPIs, alla loro scelta di misurazione e aggregazione, ad esempio per renderli in grado di comunicare specifici trend di sviluppo attraverso lo storytelling di dati.

Applicazione dei KPIs e degli indicatori aggregati

Gli indicatori per le città, intesi come parametri caratterizzati da specifiche unità di misura atti a fornire una quantificazione rispetto a un elemento misurabile, con valori statici aggiornati ciclicamente o valori dinamici aggiornati pressoché in tempo reale, forniscono la lettura dell'andamento dei processi di sviluppo su varie aree tematiche, visualizzandone le tendenze attraverso grafici o mappe. Gli indicatori urbani 'singoli' misurano o valutano un fenomeno attraverso un'unità di misura specifica, generalmente di tipo quantitativo, in grado di rappresentarne lo stato. Per loro natura sono oggettivi e indipendenti da influenze esterne, tracciabili nel tempo, e verificabili; in alcuni casi, gli indicatori sono di natura indiretta perché il fenomeno di interesse sottostante è intangibile o non direttamente osservabile. Nella loro

semplicità non è però detto siano in grado di permettere una interpretazione di fenomeni più complessi come una tendenza di sviluppo in un determinato ambito. Per questo motivo è possibile utilizzare indicatori 'compositi', più facili da comprendere per utenti non addetti al settore ma più suscettibili di interpretazione; Per superare tale criticità, gli indicatori possono anche essere inseriti in modelli utili a spiegare le condizioni presenti e fare simulazioni per sviluppi futuri (Kitchin, Lauriault and McArdle, 2015).

Alcune ricerche mostrano come sia necessario aggregare i KPIs tramite indicatori compositi che devono essere comparati, al fine di permettere una reale valutazione dell'andamento del fenomeno descritto sia in presenza sia in assenza di veri benchmark (Kourtitz and Nijkamp, 2018). Tuttavia tale aggregazione presenta non pochi rischi metodologici in quanto la pesatura dei singoli indicatori deve essere selezionata attraverso una metodologia trasparente e condivisa su base statistica. Poiché gli indicatori compositi sono costituiti da insiemi di indicatori, a cui vengono assegnati pesi diversi, il modo in cui vengono aggregati e i pesi che vengono attribuiti possono determinare un punteggio molto variabile. Di fatto, gli indicatori compositi sono maggiormente suscettibili di manipolazione (Kitchin, Lauriault and McArdle, 2015) e presentano il rischio di fornire interpretazioni diverse del fenomeno che stanno misurando (Fig. 4).

La Commissione Europea è consapevole della difficoltà di comprendere, da parte dei cittadini ma anche dei governanti, il significato e il peso che i dati singoli di monitoraggio hanno rispetto a una specifica tematica⁴; per risolvere tale criticità ha infatti istituito il Centro di Competenza sugli Indicatori Compositi e i Quadri di Valutazione Scoreboards con il compito di sviluppare piattaforme interattive di visualizzazione di dati che consentono a un'ampia gamma di utenti di esplorare e dare un senso a set di dati complessi. Le piattaforme online facilitano l'analisi e il monitoraggio dei fenomeni multidimensionali, fornendo una visione generale utile a decisioni informate sulle politiche nazionali, regionali e locali.

Sul problema dell'aggregazione di informazioni monitorate attraverso diverse metriche, ad esempio per ciascun SDG, Lafortune et alii (2020) affermano che molti framework di tracciamento degli SDGs sviluppano indici compositi, in grado di sintetizzare informazioni complesse in un unico numero anche se con rischi interpretativi. Tali indici possono essere più efficaci nello stimolare i dibattiti pubblici rispetto a un maggior numero di indicatori riferiti a singoli oggetti di monitoraggio. Allo stesso tempo, gli indici compositi sono sensibili ai metodi selezionati nelle varie fasi della loro costruzione, tra cui la standardizzazione degli indicatori, la normalizzazione degli indicatori, aggregazione (ad es. media aritmetica, media geometrica, ecc.) e pesi (uguale, matematico, basato su esperti).

Utilizzo dei cruscotti e dello storytelling di dati

Un 'cruscotto' consiste nella visualizzazione digitale di un insieme consolidato di dati, aggregati per un determinato scopo, utile a monitorare (anche in tempo reale), cosa sta accadendo in un determinato contesto di interesse e ad avviare azioni specifiche in merito. Il suo scopo varia a seconda dei fruitori, che possono essere di natura

SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS

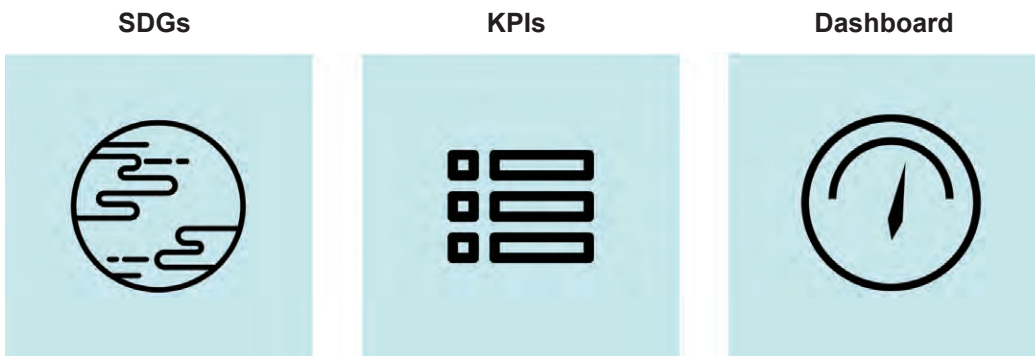


Fig. 1 | Agenda 2030 Sustainable Development Goals (source: UN, 2015).

Fig. 2 | SDGs monitoring, through KPIs visualization in dashboards (credit: M. Canepa, 2022).

pubblica o privata (Matheus, Janssen and Maeshwari, 2020) e per questo esistono diversi tipi di visualizzazione dei dati relativi agli indicatori selezionati. In determinati casi i dati sono strettamente relazionati a condizioni geospaziali: Jing et alii (2019) definiscono un cruscotto geospaziale come interfaccia interattiva basata sul web e supportata da una piattaforma che combina mappatura, analisi spaziale e visualizzazione con strumenti di business intelligence comprovati; in questo caso l'indicatore non è solo il valore numerico ma anche la visualizzazione e l'analisi basate su mappe per misurare o sviluppare le prestazioni della città.

I cruscotti possono avere quindi diverse caratteristiche in relazione agli obiettivi che ne hanno determinato la realizzazione, i dati disponibili, l'utente a cui si rivolge, l'aggiornamento dei dati, la necessità di metadati, la presenza di benchmarking o valori target e/o la struttura grafica (Sarikaya et alii, 2019). Possono essere utilizzati come strumento interno, cioè per evidenziare l'andamento di determinate condizioni ambientali o di processi di cambiamento in corso affinché i decisori politici meglio comprendano le azioni da intraprendere. In alternativa – ma anche contemporaneamente, attraverso il raggruppamento di KPIs (ciascuno in grado di monitorare un singolo

parametro) – è possibile creare insieme in grado di descrivere le tendenze di sviluppo di uno specifico ambito, rendendoli così comprensibili anche ai cittadini (qualora lo strumento sia accessibile, attraverso un sito web), definendo un preciso storytelling di dati (Barns, 2018). La modalità e lo strumento con il quale viene esposto il cruscotto può trasformarlo in uno strumento comunicativo più o meno efficace in virtù della disponibilità (monitorabilità), della bontà (sicurezza della fonte) dei dati, della metodologia di calcolo dell'indicatore.

I cruscotti non sono strumenti neutri, tecnici e di buon senso, ma sono in realtà inquadrati socialmente, politicamente, eticamente e filosoficamente in termini di forma, selezione dei dati, modalità di visualizzazione, analisi e distribuzione (Kitchin, Maalsen and McArdle, 2016). Essi agiscono come traduttori e motori piuttosto che specchi, implementando un protocollo comunicativo che determina, da un lato il modo in cui i dati vengono visualizzati e quindi ciò che l'utente può vedere e con cui interagire, dall'altro quali domande possono essere poste e come vengono visualizzate le risposte.

È possibile riscontrare cruscotti di Enti pubblici con una focalizzazione sui propri obiettivi di sviluppo, o su meri dati analitici, o ancora riferiti agli indicatori degli SDGs; è possibile, in tutti i casi,

capire come sia difficile trarre veramente valutazioni inequivocabili su ciò che misurano e rappresentano, sia nel caso di indicatori singoli sia di gruppi di indicatori o loro aggregazioni. Nel 2018, con il supporto della Robert Wood Johnson Foundation, è stato lanciato il City Health Dashboard con oltre 40 indicatori relativi alla salute, dapprima per le 500 più grandi città degli Stati Uniti e nei quattro anni seguenti per altre 400 città, tutte con più di 50.000 abitanti⁵. Il cruscotto delle singole città restituisce dati semplici come il numero di decessi per determinate patologie, variazioni rispetto alla media nazionale e il trend degli eventi che consente di monitorare eventuali miglioramenti, il tutto accompagnato da una visualizzazione geospaziale (mappa) e da report sintetici con dati su indicatori socio-economici, comportamentali (es. statistiche su quanti fumano) e ambientali (es. inquinanti atmosferici). L'insieme dei dati può dare un'idea dello stato di salute degli americani ma senza confronti esterni; pertanto, anche se si tratta di dati singoli, inequivocabili visti uno per uno, ciò che rappresentano nel loro insieme è interpretabile.

Altro caso interessante è quello del network delle Scuole di Business, coordinate dalla Haub School of Business della Saint Joseph's University (Philadelphia) la quale ha individuato uno strumento di reporting e analisi dei dati che consente di mostrare e condividere le loro migliori pratiche relative agli SDG. Obiettivo dichiarato è far sì che l'istruzione superiore sia uno dei motori per il raggiungimento degli obiettivi della Agenda 2030. Ognuna delle Scuole coinvolte nel network presenta un cruscotto in cui i 17 SDGs vengono posti in una matrice con le attività di Teaching, Research, Dialogue, Organisational Practice e Partnership: dal cruscotto è possibile riscontrare le diverse attività dell'Università che ad oggi sono in prevalenza legate alla didattica (33) e alla ricerca (72) per i diversi SDGs, mentre in numero sensibilmente inferiore sono quelle relative agli altri ambiti. È molto interessante l'idea di un network, con partner in diversi continenti, con un certo grado di omogeneità, anche se con caratteristiche diverse e una diversa intensità di attribuzione agli SDG del proprio lavoro. La lettura dell'abstract delle ricerche può però non essere sufficiente per capire la reale connessione con l'SDG in oggetto e spesso i link di approfondimento portano su altri siti di non immediata comprensione.

Un'altra città che presenta il proprio sito includendo un cruscotto riferito agli SDGs è Los Angeles. Per ogni SDG, riunito nella pagina di riferimento secondo il consueto schema a icone, è possibile passare a una pagina che riporta il target e gli indicatori utilizzati; per ciascun indicatore di cui sono disponibili dati si può passare a una ulteriore pagina di report con dati e documenti scaricabili. Ogni utente può quindi analizzare i dati disponibili e fare le proprie deduzioni, non essendo presente né un benchmark di riferimento né una comparazione con altre città, contee o con il contesto statale, come invece avviene per il cruscotto della Provincia autonoma di Bolzano o delle Città Metropolitane di Milano e Genova.

Uno dei casi di cruscotto maggiormente pubblicato è quello della città di Dublino, la cui realizzazione è stata coordinata da Rob Kitchin, noto per avere un'intensa attività di ricerca sul tema. Il progetto Building City Dashboards, finanziato dal-

la Science Foundation Ireland, è stato sviluppato dal 2016 al 2020 e ha prodotto i cruscotti di Dublino e di Cork che sono rimasti attivi fino a gennaio 2022 quando è terminato il progetto. Se ne è discusso ampiamente in diversi articoli (Kitchin, Maalsen and McArdle, 2016) perché il cruscotto di Dublino ha una struttura composita e i dati sono esposti con varie modalità in funzione della loro leggibilità e significato. Troviamo quindi dati georeferiti, istogrammi e tabelle, tutti richiamabili per approfondimenti successivi a partire da una pagina di sintesi che individua le diverse tematiche.

Il progetto, decisamente interessante, completo e accattivante anche dal punto di vista grafico, si è rivelato debole nella sua implementazione in quanto nato più dalle attività di ricerca del gruppo creato da Rob Kitchin (Young et alii, 2021) che da un vero interesse da parte delle municipalità che al momento non lo sostengono finanziariamente. Questa esperienza è rimasta comunque un riferimento importante anche per altri autori (Pluto-Kossakowska, 2022) che più recentemente l'hanno confrontata con altre rispetto alla capacità di coinvolgere la comunità urbana. Per rendere flessibile il cruscotto di Dublino, i dati sono stati presentati in modalità e con strumenti diversi, ad esempio ArcGIS Story Maps, strumento che consente agli utenti di fruire di una forma narrativa che combina testo, mappe interattive e altri contenuti multimediali; una sequenza ordinata di dati secondo una specifica logica li rende così comprensibili rispetto agli obiettivi prefissati.

L'esperienza di DataLab | Dall'esperienza maturata nell'ambito del progetto Decimeter, piattaforma di consultazione on-line, nel 2022 nasce la prima collaborazione tra UniGe DAD (Università degli Studi di Genova, Dipartimento Architettura e Design) e Colouree Srl⁶ incentrata sul progetto DataLab (Linee Guida per il Monitoraggio dell'Agenda Integrata della Città Metropolitana Sostenibile), promosso da Città metropolitana di Genova e Città metropolitana di Milano, che consente il dialogo tra le Amministrazioni pubbliche e fornisce un ambiente per l'analisi dei dati territoriali a supporto delle decisioni. Partendo dagli obiettivi e target definiti dall'Agenda Metropolitana Sostenibile, DataLab è stato immaginato come un cruscotto per l'analisi e il monitoraggio dei dati, multitenant, aperto e interoperabile, condivisibile con altre città metropolitane italiane ed europee.

Le attività di DataLab consistono: nella diagnosi e definizione dell'Architettura dei Dati a partire dagli obiettivi e target definiti nell'Agenda Metropolitana Sostenibile e negli indicatori ASVIS (Alleanza Italiana per lo Sviluppo Sostenibile) e ISTAT (Istituto Nazionale di Statistica); nella definizione di storytelling di dati in base alle esigenze e agli scenari strategici dell'Amministrazione; nella progettazione della piattaforma tecnologica per il monitoraggio e la visualizzazione degli indicatori; nell'implementazione di indicatori e cruscotto (Tab. 1).

Lo storytelling di dati offre la possibilità di trasformare i dati grezzi in concetti più facili da leggere e comprensibili che aiutano gli utenti ad avere una visione più ampia. Gli SDGs sono stati correlati ai KPIs per descrivere diversi scenari e definire specifiche tendenze e traiettorie di sviluppo. Lo storytelling di dati (Fig. 5) permette di comunicare la sostenibilità nella sua complessità, attraverso visualizzazioni di dati ed elementi infografici

grazie anche alla progettazione dell'interfaccia del cruscotto. DAD, insieme a Colouree, ha fornito una metodologia dello storytelling di dati, partendo dalla selezione di indicatori strategici per la città metropolitana; considerando le linee di sviluppo e i settori trainanti (basati ad esempio su analisi SWOT) è stato possibile definire trend che raggruppano indicatori comprovati con diversi macro-obiettivi.

Le tendenze definite sono state personalizzate per ciascuna città: nel caso di Milano, le 'traiettorie' sono la visione concreta, fondata sugli Obiettivi dell'Agenda 2030, dove lo sviluppo di ogni Traiettoria fa riferimento a una selezione trasversale di più indicatori tratti da diversi SDG, costantemente sottoposti a una lettura critica secondo alcuni principi fondanti, denominati 'valori' e selezionati sulla base degli SDG 4, 5, 10 e 17. Le sei 'traiettorie' individuate sono relative a Energia,

Ecologia, Economia Circolare, Resilienza, Digitale, Crescita economica. Per la Città metropolitana di Genova sono stati adottati i trend di sviluppo Comunità Resilienza, Benessere e inclusività e Mobilità sostenibile (Figg. 6-14).

Tra le principali criticità si rileva la disomogeneità del numero e del tipo di indicatori selezionati da ciascuna Municipalità, che non permette una comparabilità diretta, la mancanza di dati per una serie significativa di anni consecutivi tale da consentire di visualizzare i grafici delle tendenze e il rischio di selezionare banche dati che nel futuro potrebbero non rinnovare il monitoraggio di dati specifici, magari derivati da un campionamento occasionale. In ogni caso il DataLab costituisce una base interessante per l'individuazione dei punti di forza e di debolezza da implementare; le traiettorie di sviluppo sono una base utile per ricerche di finanziamento (ad esempio fondi PNRR

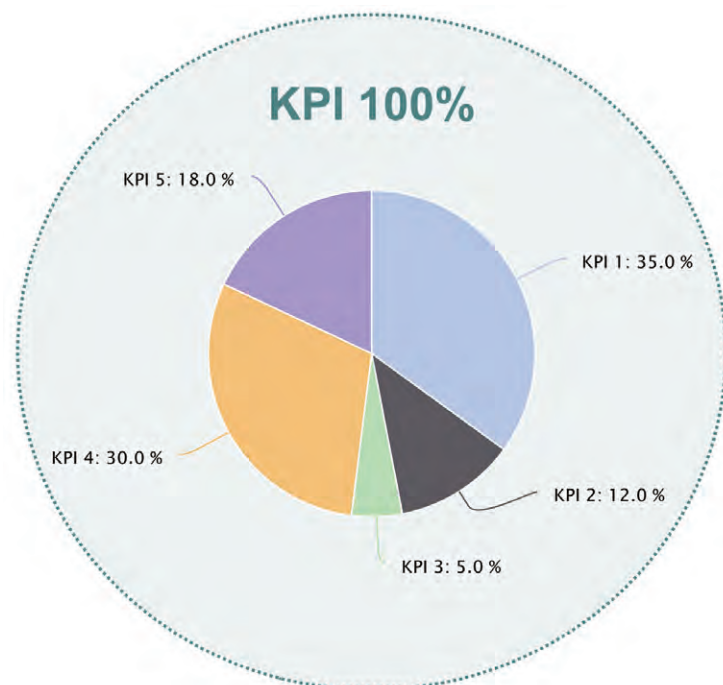
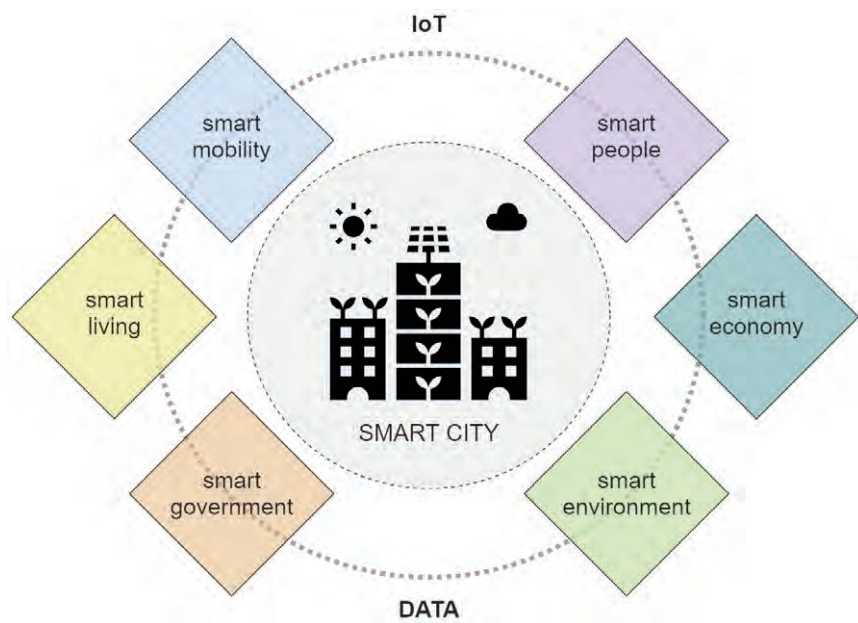


Fig. 3 | Smart City features (credit: M. Canepa, 2022).

Fig. 4 | Composite KPI (credit: M. Canepa, 2022).

Public Body Dashboard	Objective	Data type	SDG	Find it at web-site
City Health Dashboard – NYU Langone Health	state of health monitoring	single	not explicitly	cityhealthdashboard.com
	for 900 US cities inhabitants	compared to the average	implicitly referable to SDG 3	
Business School Network Haub School of Business Saint Joseph's University (Philadelphia, Pennsylvania)	involving teachers	reports	all explicitly	sdgdashboard.sju.edu
	and students inSDG	referred to Schools activities	linked to Schools activities	
City of Los Angeles data for Sustainable Development Goal indicators	to assess L.A. indicators	single - reports	all explicitly	sdgdata.lamayor.org
	with respect to SDG targets	measured and statistics	related to L.A. County	
Genoa Metropolitan City	to identify and communicate	composite (aggregation)	all explicitly	sdgcittametropolitana.ge.it
	development trends	compared to average	linked to trends	
Milan Metropolitan City	to identify and communicate	composite (aggregation)	all explicitly	sdgcittametropolitana.mi.it
	development trends	compared to the average	linked to trends	

Tab. 1 | Case studies (credit: A. Magliocco, 2022).

– Piano Nazionale Ripresa e Resilienza) e Piani di sviluppo urbano a lungo termine.

Conclusioni | La proliferazione delle politiche di smart city in tutto il mondo negli ultimi anni ha visto le infrastrutture digitali, i dati urbani e la progettazione di software svolgere ruoli sempre più centrali nella governance contemporanea della città. I cruscotti possono avere un ruolo interessante nel supportare la realizzazione di iniziative da parte delle Amministrazioni, al fine di stabilire investimenti strategici efficaci e allineati agli obiettivi di governance (Barns, 2018). I cruscotti delle municipalità stanno diventando uno strumento importante per la gestione sostenibile dei sistemi urbani e per la presa di consapevolezza da parte dei cittadini di quali siano le politiche locali di sviluppo per migliorare le loro condizioni di benessere.

Infatti, i cruscotti possono essere utilizzati sia per fornire informazioni ai decisori (di Enti pubblici o privati), sia per comunicare ai cittadini le azioni che gli Enti stanno portando avanti, evidenziare i risultati dei processi decisionali e supportarli. I cruscotti dovrebbero aiutare a facilitare la trasparenza, la governance, l'affidabilità e consentire ai cittadini di partecipare al processo decisionale nelle smart cities (Matheus, Janssen and Maheshwari, 2020). Un'interessante funzione dei cruscotti pubblici è che possono essere utilizzati per creare approfondimenti significativi, per creare conoscenze, per guidare l'empowerment dei cittadini. Le piattaforme che possono supportare il coinvolgimento della comunità e la pianificazione partecipativa offrono uno di questi meccanismi se sono progettate e implementate in modo appropriato (Locka et alii, 2020).

La principale difficoltà che si riscontra nell'utilizzo dei cruscotti è relativa al reperimento dei dati in maniera continuativa o pressoché automatica, in modo da poter gestire il processo senza costi eccessivi. Sebbene si possa sostenere che gli indicatori, scevri da manipolazioni, siano adatti a una comunicazione efficace e trasparente, spes-

so se presi singolarmente, non sono in grado di rappresentare un fenomeno complesso (come nel caso studio di Los Angeles). Gli stessi indicatori singoli non sempre raffigurano davvero ciò che si vorrebbe rappresentare, come nel caso del PIL quando viene utilizzato come misura di ricchezza di un Paese. La realizzazione di indicatori complessi sembra poter superare questi limiti e costituire un'interessante strategia per rappresentare traiettorie di sviluppo in determinati ambiti. La scelta delle componenti da aggregare e la loro pesatura è però un'operazione delicata che può fortemente influenzare il risultato e, di conseguenza, la valutazione che si dà al progresso di un determinato ambito in relazione a un parametro di riferimento. Una soluzione intermedia è lo storytelling di dati che, aggregando i singoli indicatori, ne illustra le relazioni, come nel caso del DataLab.

I cruscotti non rappresentano quindi semplicemente i fenomeni urbani ma generano nuove visioni e letture della città, producono attivamente significato e influenzano le scelte di governance; inoltre, implementano un sistema di monitoraggio a scala globale, attraverso chiavi di lettura mirate e la progettazione di un'interfaccia in grado di mettere in evidenza alcune dinamiche tralasciandone (o volendo anche nascondendone) altre (Kitchin, Maalsen and McArdle, 2016). Così facendo i cruscotti possono anche fornire la parziale ed erronea impressione che una città sia semplicemente la somma delle sue misure e che possa essere conosciuta, pianificata e controllata solo attraverso processi di dati e algoritmi, considerandola semplicemente come un sistema che agisce in modo 'razionale', 'meccanico', 'lineare e gerarchico', che può essere guidato e controllato, proprio come avviene con un'auto attraverso il suo cruscotto (Block, Van Assche and Goeminne, 2013).

tions members, provides a shared plan for peace and prosperity of the planet and present and future generations. The Agenda defines the 17 Sustainable Development Goals (SDGs), representing an urgent call for action from all developed and developing countries. These objectives aim to safeguard people and environmental health, address climate change, achieve an effective ecological transition to renewable energy sources and make cities more resilient (Fig. 1). To monitor the progress of these objectives, several public and private entities, in particular municipalities, are equipping themselves with digital systems to implement communication strategies by highlighting the monitoring of the Key Performance Indicators (KPIs; Alrashed, 2020). Among the most used tools, there are the 'dashboards', able to dynamically describe the status of some significant aspects of the environmental, social, and economic quality of a socio-spatial setting, for example, a municipality, a neighbourhood, a product or an educational organisation, etc. (Young and Kitchin, 2020).

To better understand and monitor progress in achieving the SDGs, it is necessary to identify comparable and universally shared evaluation parameters. KPIs can realistically and measurably define the essential factors related to a specific object, such as reducing climate change or achieving community resilience. KPIs are a significant environmental policy-making tool for public bodies, which can use them to identify realistic targets for achieving the SDGs and to understand in which sectors they are most lacking (Schokker, Kamilaris and Karatsiolis, 2022; Fig. 2). Therefore, for municipalities, the monitoring and attainment of these targets could play a central role in local and multi-level governance strategies (Hughes, Sarah and Tozer, 2020).

Compared to the monitoring actions on a national scale, those on a local scale can be extremely significant in mapping the actual differences found on a regional and metropolitan scale. However, it is necessary to select sets of indica-

The 2030 Agenda for Sustainable Development (UN, 2015), adopted in 2015 by all the United Na-

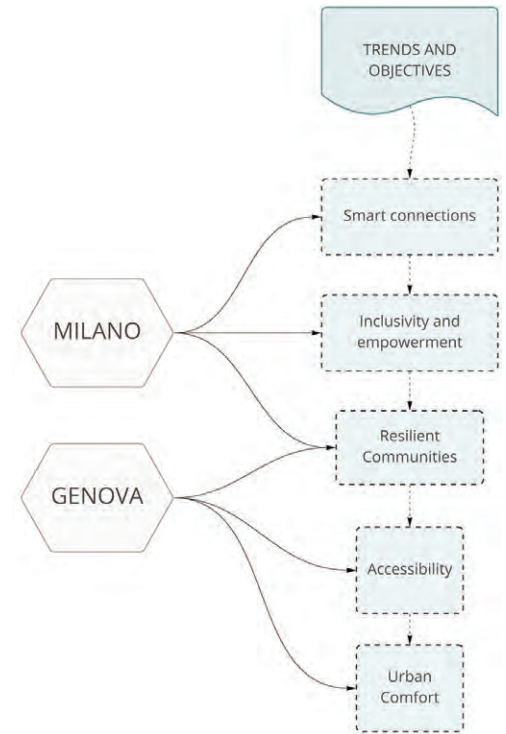
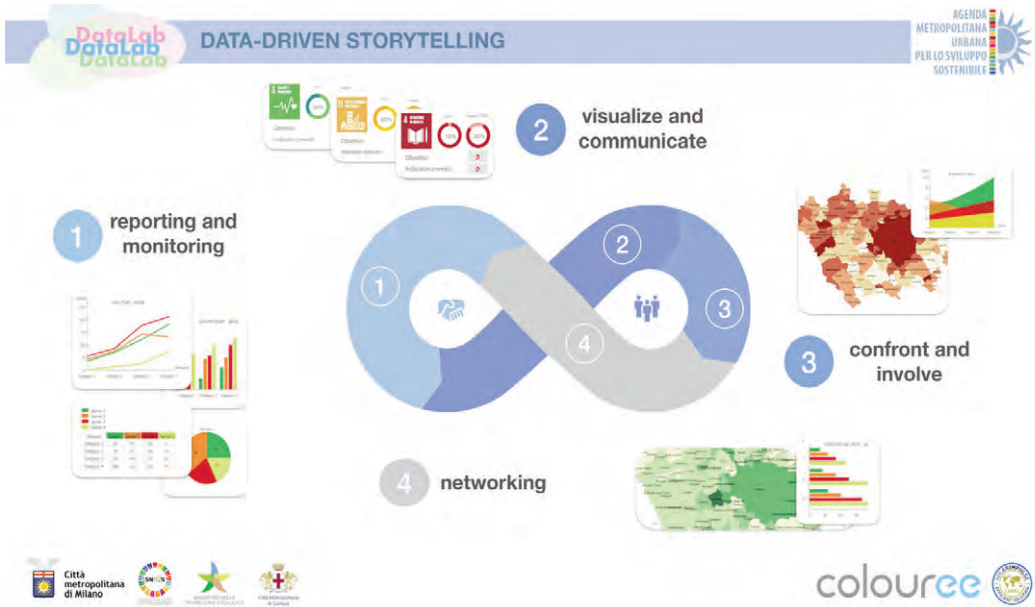
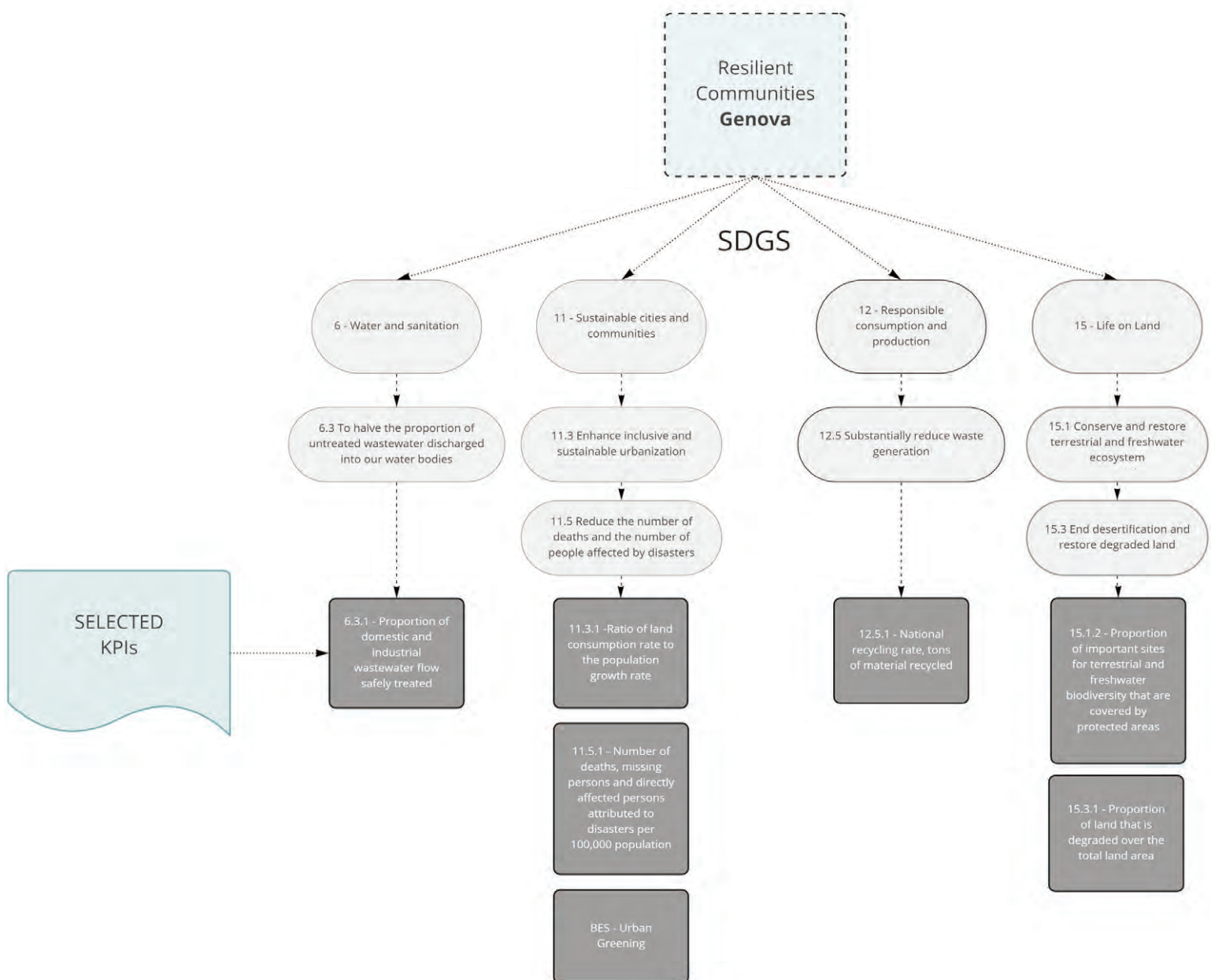


Fig. 5 | DataLab: data-driven storytelling (credit: Colouree Srl, 2022).

Fig. 6 | DataLab: trends for metropolitan cities (credit: M. Canepa, 2022).

Fig. 7 | DataLab: exemplificative trend for Metropolitan City of Genova (credit: M. Canepa, 2022).



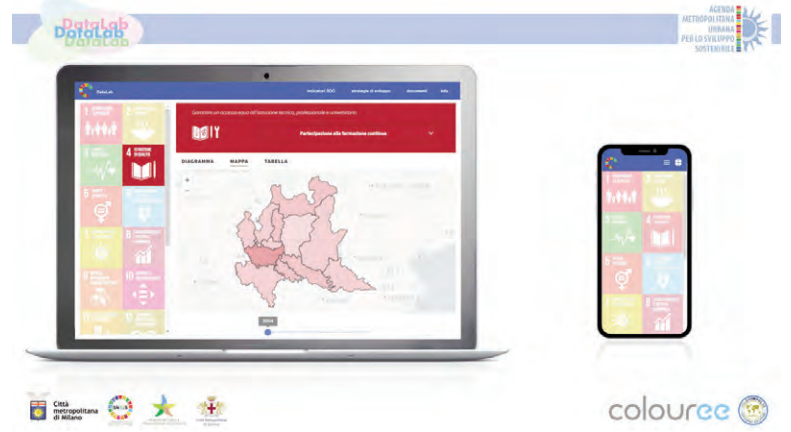


Fig. 8-14 | First draft of dashboard interface for the Metropolitan City of Milan (credits: Colouree Srl, 2022).

tors with adequate units of measurement and refer to databases that offer small-scale, up-to-date, and future-updated values. To identify a framework of shared statistical information as a tool for monitoring and evaluating progress towards the objectives of the 2030 Agenda, the United Nations Statistical Commission established the Inter Agency Expert Group on SDGs which defined a series of over 200 indicators. The National Institute of Statistics (ISTAT) is also involved in the statistical surveys for monitoring progress towards the Sustainable Development Goals; the identified measures consider the indicators defined by the Group of Experts together with some specific national context data, also deriving from the BES framework (Fair and Sustainable Wellness).¹

The increasingly widespread 'smart city' concept, which is often associated with the idea of an intelligent, digitized and monitored city, is not univocal. According to Zygiaris (2013), this concept has expanded so much, even with very different meanings, to lead to frequent and often arbitrary self-declarations by numerous cities, even if there are several references and evaluation frameworks to identify their characteristics (Smart City Reference Model), based on statistical data and quantitative information, such as the Intelligent Community Forum² or the Smart Cities index³ (Caragliu, Del Bo and Niamp, 2011). What has certainly progressively allowed the development of smart cities is the availability of databases (on various topic such as traffic, environmental quality, safety, etc.) and the possibility, through optical fibre and wi-fi networks, to transfer such data from one platform to another; the instrument for displaying the data is usually called a dashboard, or 'city dashboard' (Fig. 3).

Sensors and IoT (Internet of Things) technologies are becoming increasingly important in monitoring urban phenomena, collecting, processing, analysing, and integrating large amounts of data. This importance is evidenced by the huge investments made by technology companies in creating prototypes of data detection and interconnection systems. These systems are helping several cities around the world to integrate the IoT into their management systems to improve policies, services, and urban activities (D'Amico et alii, 2020). IoT, to be effective, needs continuous monitoring through interconnected platforms and dashboards, capable of showing what is detected. The data availability highlights more clearly what challenges the cities are facing in managing urban services and, if dashboards are accessible and easy to read, they can also improve citizens' sense of responsibility and awareness regarding urban issues.

The paper aims to address the issue of the representativeness of the indicators and their consequent organization in dashboards, regarding the key performance indicators related to the Sustainable Development Goals. The discussion refers to case studies, reporting the methodologies used, the results achieved, the main areas of application, future developments, underlining the implicit criticalities connected to the selection of KPIs, their choice of measurement and aggregation, for example, to make them able to communicate specific development trends through data driven storytelling.

Application of KPIs and aggregate indicators

Indicators, referring to cities and considered as parameters characterized by specific units of measurement, aimed at providing a quantification referring to a measurable element, using static values updated cyclically or dynamic values updated almost in real-time, supply a reading of the progress of development processes on various thematic areas, displaying their trends through graphs or maps. The 'single' urban indicators measure or evaluate a phenomenon through a specific unit of measurement, generally of a quantitative type, capable of representing its status. By their nature they are objective and independent from external influences, traceable over time, and verifiable; in some cases, the indicators have an indirect nature because their underlying phenomenon of interest is intangible or not directly observable. In their simplicity, however, they cannot necessarily allow an interpretation of more complex phenomena, such as a development trend referred to a specific topic. For this reason, it is possible to use 'composite' indicators, which are easier for non-sector users to understand but more susceptible to interpretation. To overcome this criticality indicators can also fit into helpful models to explain current conditions and make simulations for future developments (Kitchin, Lauriault and McArdle, 2015).

Some research shows that it is necessary to aggregate the KPIs through composite indicators that require comparison to allow a realistic evaluation of the trend of the described phenomenon, both in the presence and in the absence of real benchmarks (Kourtit and Nijkamp, 2018). However, this aggregation presents many methodological risks, as the weighting of the individual indicators must be selected through a transparent and shared methodology, or on a statistical basis. Since composite indicators are made up of sets of indicators, to which are assigned different weights, the way they are aggregated and the weights that are attributed can result in a highly fluctuating score. Composite indicators are more susceptible to manipulation (Kitchin, Lauriault and McArdle, 2015) and present the risk of providing different interpretations of the phenomenon they are measuring (Fig. 4).

The European Commission is aware of how difficult could be for citizens but also for rulers⁴ to understand the meaning and the weight that individual monitoring data have to a specific issue; to solve this criticality it has set up the Competence Centre on Composite Indicators and Scoreboards Evaluation Panels with the task of developing interactive data visualization platforms that allow a wide range of users to explore and dare to make sense of complex data sets. Online platforms facilitate the analysis and monitoring of multidimensional phenomena, providing a useful overview for advised decisions on national, regional, and local policies.

Referring to the problem of aggregating information monitored through different metrics, Lafortune et alii (2020) affirm that many SDG tracking frameworks develop composite KPIs, capable of synthesizing complex information in a single number, even though with interpretative risks. Such composite KPIs may be more effective in stimulating public debates than a greater number of indicators referring to single monitoring objects. At

the same time, composite KPIs are sensitive to the methods selected at various stages of their construction, including standardization of indicators, normalization of indicators, aggregation (e.g., arithmetic mean, geometric mean, etc.) and weights (equal, statistician, based on experts).

Use of dashboards and data-driven storytelling

A 'dashboard' consists of a digital display of a consolidated set of data, aggregated for a specific purpose, useful for monitoring (even in real-time) what is happening in each context of interest and for initiating specific actions related to it. Its purpose changes according to the users, which can belong to a public or a private sphere (Matheus, Janssen and Maheshwari, 2020) and for this reason, there are different types of data visualization in relation to the selected indicators. In certain cases, the dataset is closely related to geospatial conditions: Jing et alii (2019) for example, it's possible to define a geospatial dashboard as an interactive web-based interface, supported by a platform that combines mapping, spatial analysis and visualization with verified business intelligence tools; in this case, the KPI value is not only related to the numerical one but also to the visualization and the analysis, based on maps to measure or develop the performance of the city.

Dashboards can, therefore, have different characteristics in relation to the objectives that led to their realization, such as the data available, the user to whom it is addressed, the data updating, the need for metadata, the presence of benchmarking or target values, and/or the graphic design (Sarıkaya et alii, 2019). They can be used as an internal tool, for example, to highlight the trend of certain environmental conditions or ongoing changes in processes, hence the policymakers can better understand the actions to be taken. Alternatively, but also at the same time, it is possible, through the grouping of KPIs (each able to monitor a single parameter), to create sets capable of describing the development trends of a specific area, thus making them understandable also to citizens (if the tool could be accessible through a website), defining a precise data-driven storytelling (Barns, 2018). The way and the device with which the dashboard is displayed can transform it into an effective communication instrument by virtue of the availability (monitoring), the integrity of the data (source security), and the calculating method.

Dashboards are not neutral, purely technical, and common-sense tools, but are socially, politically, ethically and philosophically framed in terms of design, data selection, viewing, analysis and distribution (Kitchin, Maalsen and McArdle, 2016). They act as translators and engines rather than mirrors, implementing a communication protocol that determines, on the one hand, the way the data is displayed and therefore what the user can see and interact with, and on the other hand what questions can be asked, and how the responses are displayed.

It is possible to find dashboards of public bodies with a focus on their development objectives, on mere analytical data, or even referring to the SDGs; it is possible, in all cases, to understand how difficult it is to truly draw unequivocal assessments of what they measure and represent, both in the case of single KPI, groups of KPIs or com-

posite KPIs. In 2018, with the support of the Robert Wood Johnson Foundation, the City Health Dashboard was launched with over 40 health-related indicators, first for the 500 largest cities in the United States and in the following four years for another 400 cities, all with more than 50,000 inhabitants⁵. The dashboard of the individual cities returns simple data such as the number of deaths from certain diseases, variations compared to the national average, and the trend of events that allow you to monitor any improvement, all accompanied by a geospatial view (map) and synthetic reports with data on socio-economic, behavioural (e.g., statistics on how many people smoke) and environmental indicators (e.g., atmospheric pollutants). The whole of the data can give an idea of the state of health of Americans but without external comparisons; therefore, even if they are single data, unequivocal seen one by one, what they represent can be interpreted.

Another case study is the Business Schools network, coordinated by the Haub School of Business of Saint Joseph's University (Philadelphia) which has identified a reporting and data analysis tool that allows them to show and share their best practices relating to the SDGs. The stated goal is to ensure that higher education is one of the engines for achieving the objectives of the 2030 Agenda. Each School involved in the network presents a dashboard, in which the 17 SDGs are placed in a matrix that shows the Teaching, Research, Dialogue, Organizational Practice and Partnership activities. From the dashboard, it is possible to find the different activities of Saint Joseph's University which, for today, for the various SDGs, are mainly linked to didactics (33) and research (72), while those relating to other areas are considerably lower. One of the most interesting aspects is the idea of a network, with partners from different countries, with a certain degree of homogeneity, albeit with different characteristics and a different intensity of attribution of their research work in relation to the SDGs. However, reading the abstract of the research may not be sufficient to understand the real connection with the SDGs taken into consideration and, often, the in-depth links lead to other sites of no immediate understanding.

Another city that presents its website including a dashboard referring to the SDGs is Los Angeles. For each SDG, gathered on the reference page according to the usual icon scheme, it is possible to go to a page that shows the target and the indicators used; for each KPI data available displayed, it is possible to go to a further report page with downloadable data and documents. Each user can therefore analyse the data available and make his own deductions, as there is neither a reference benchmark, nor a comparison with other cities, counties, or the state context, instead, it happens in the case of the Autonomous Province of Bolzano dashboard or in the Metropolitan Cities of Milan and Genoa dashboards.

One of the most published case studies is the city of Dublin dashboard, its creation was coordinated by Rob Kitchin, known for having intense research activity on the subject. The Building City Dashboards project, funded by Science Foundation Ireland, was developed from 2016 to 2020 and produced the Dublin and Cork dashboards which remained active until January 2022, when

the project ended. It has been extensively discussed in several articles (Kitchin, Maalsen and McArdle, 2016) because the Dublin dashboard has a composite structure, and the data are exposed in various ways, according to their readability and meaning. We, therefore, find geo-referenced data, histograms, and tables, all of which can be recalled for subsequent in-depth analysis, starting from a summary page that identifies the various issues.

The project, which is interesting, complete, and captivating, also from the graphic point of view, proved to be difficult to implement, as it was born more from the research activities of the group created by Rob Kitchin (Young et alii, 2021) than from a real interest of the municipalities that currently do not support it financially. However, this experience has remained an important reference for other authors (Pluto-Kossakowska, 2022) who more recently compared it with other case studies, regarding the ability to involve the urban community. To make the Dublin dashboard flexible, the data were presented in different ways and with different tools, for example, ArcGIS Story Maps, a tool that allows users to enjoy a narrative form that combines text, interactive maps, and other multimedia content; an ordered sequence of data according to a specific logic thus makes them understandable with respect to the set objectives.

The DataLab experience | From the experience gained in the context of the Decimeter project, an online consultation platform, in 2022 the first collaboration between UniGe DAD (University of Genoa, Department of Architecture and Design) and Colouree Srl⁶ was established, focusing on the DataLab project (Guidelines for Monitoring of the Integrated Agenda of the Sustainable Metropolitan City), promoted by the Metropolitan City of Genoa and the Metropolitan City of Milan, which allows a dialogue between public administrations and provides an environment for the analysis of territorial data supporting decision strategies. Starting from the objectives and targets defined by the Sustainable Metropolitan Agenda, DataLab was conceived as a dashboard for analysing and monitoring data, multitenant, open, and interoperable, which can be shared with other metropolitan cities, and with European metropolitan areas.

DataLab's activities consist of: the diagnosis and definition of the Data Architecture starting from the objectives and targets defined in the Sustainable Metropolitan Agenda and in the ASVIS (Italian Alliance for Sustainable Development) and ISTAT (National Institute of Statistics) KPIs guidelines; the definition of a data driven storytelling, based on the needs and the strategic scenarios of the municipality; the design of the technological platform for monitoring and displaying KPIs; the implementation of KPIs and dashboard (Tab. 1).

Data driven storytelling offers the ability to transform raw data into easier to read and understandable concepts that help users to obtain a broader view. The SDGs have been correlated with the KPIs to describe different scenarios, define specific trends, and develop new trajectories. The data driven storytelling (Fig. 5) allows for communicating sustainability in its complexity, through data visualizations and infographic elements, thanks also to the design of the dashboard interface. DAD, together with Colouree, provided a

data driven storytelling methodology, starting from the selection of strategic KPIs for the metropolitan city; considering the development lines and the driving sectors (based for example on SWOT analysis), it was possible to define trends that combine verified indicators with different macro-objectives.

The defined trends have been customized for each city: in the case of Milan, the 'trajectories' are the concrete vision, based on the 2030 Agenda Goals, where the development of each Trajectory refers to a transversal selection of several indicators drawn from different SDGs, constantly subjected to a critical reading, according to some fundamental principles, called 'values', and selected on the basis of SDGs 4, 5, 10 and 17. The six identified 'trajectories' are related to Energy, Ecology, Circular Economy, Resilience, Digital and Economy. For the metropolitan city of Genoa, the development trends of Community Resilience, Wellbeing and Inclusiveness, and Sustainable Mobility have been adopted (Fig. 6-14).

Among the main critical issues are the uneven number and type of KPIs selected by each municipality, which does not allow direct comparability; the lack of data for a significant series of consecutive years, such as to allow the display of a trend graph, and the risk of selecting databases that may not renew the monitoring of specific data in the future, perhaps derived from occasional sampling. In any case, the DataLab constitutes an interesting basis for identifying the strengths and weaknesses to be implemented; as development trajectories are a useful basis for funding research (for example Italian PNRR funds – National Recovery and Resilience Plan) and long-term urban development plans.

Conclusions | In recent years, digital infrastructure, urban data, and software design play increasingly central roles in contemporary city governance, due to the proliferation of smart city policies all around the world. Dashboards can play an interesting role in supporting the implementation of initiatives by administrations, to establish effective strategic investments aligned with governance objectives (Barns, 2018). The municipalities' dashboards are becoming an increasingly important tool for the sustainable management of urban systems and for citizens' awareness of how local development policies are going to improve their well-being conditions.

In fact, the dashboards can be used to provide information to decision-makers (of public or private bodies), to communicate to citizens the actions that the bodies are carrying out, and highlight the results of decision-making processes and support them. Dashboards in smart cities should help to facilitate transparency, governance, and accountability and allow citizens to participate in decision-making processes (Matheus, Janssen and Maheshwari, 2020). An interesting function of public dashboards is that they can be used to create meaningful insights, create knowledge, and guide citizen empowerment. Platforms that can support community engagement and sharing planning offer one of these mechanisms if they are properly designed and implemented (Locka et alii, 2020).

The main difficulty encountered in the use of dashboards is related to the retrieval of data, continuously or almost automatically managed, to be

able to handle the process without excessive costs. Although it can be argued that KPIs, free from manipulation, are suitable for effective and transparent communication, often when taken individually, they are unable to represent a complex phenomenon (as in the Los Angeles case study). The same single indicators do not always really depict what one would like to represent, as in the case of GDP when it is used as a measure of a country's wealth. The creation of composite indicators seems to be able to overcome these limits and constitute an interesting strategy for representing development trajectories in certain areas. However, the choice of the components to be aggregated and their weighting is a delicate opera-

tion that can strongly influence the result and, consequently, the evaluation that is given to the progress of a certain area in relation to a reference parameter. An intermediate solution is represented by data driven storytelling, which by aggregating the individual KPIs, illustrates their relationships, as in the case of the DataLab.

Dashboards, therefore, do not simply represent urban phenomena but generate new visions and readings of the city, actively produce meaning and influence governance choices; in addition, they implement a monitoring system on a global scale, through targeted interpretations and the design of an interface capable of highlighting some dynamics and omitting (or even hiding) others

(Kitchin, Maalsen and McArdle, 2016). Dashboards can also provide the partial and erroneous impression that a city is simply the sum of its measurements and that it can only be known, planned and controlled through data processes and algorithms, viewing it merely as a system that acts in a rational, mechanical, linear and hierarchical way, which can be driven and controlled, just like with a car through its dashboard (Block, Van Assche and Goeminne, 2013).

Acknowledgements

The contribution is the result of a joint reflection of the authors. However, the introductory paragraph and 'Application of KPIs and aggregate indicators' have to be attributed to A. Magliocco, 'Use of dashboards and data-driven storytelling' to M. Canepa, while 'The DataLab experience' and 'Conclusions' to both authors. M. Canepa's research takes place within the framework of the RTDA-PON Green Research, in collaboration with the Colouree Srl company.

Notes

1) The BES project was born in 2010 to measure Fair and Sustainable Wellbeing, aiming to assess the progress of society not only from an economic but also from a social and environmental point of view. To this end, the traditional economic indicators, primarily Gross Domestic Product (GDP), were supplemented with measures on the quality of life of people and the environment. More information on the web page: istat.it [Accessed 13 September 2022].

2) For further information, consult the webpage: intelligentcommunity.org [Accessed 13 September 2022].

3) For further information, consult the webpage: smartcities.eu [Accessed 13 September 2022].

4) For further information, consult the webpage: composite-indicators.jrc.ec.europa.eu [Accessed 13 September 2022].

5) For further information, consult the webpage: cityhealthdashboard.com [Accessed 13 September 2022].

6) Colouree Srl is a company that offers artificial intelligence, data, and position solutions in smart cities and in the real estate sector, oriented to monitoring, supporting decision and user involvement, based on the ability to analyse interactions between people, activities, and the building environment.

References

Alrashed, S. (2020), "Key performance indicators for Smart Campus and Microgrid", in *Sustainable Cities and Society*, vol. 60, pp. 1-9. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.scs.2020.102264 [Accessed 13 September 2022].

Barns, S. (2018), "Smart cities and urban data platforms – Designing interfaces for smart governance", in *City, Culture and Society* vol. 12, pp. 5-12. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.ccs.2017.09.006 [Accessed 13 September 2022].

Block, T., Van Assche, J. and Goeminne, G. (2013), "Unravelling urban sustainability – How the Flemish City Monitor acknowledges complexities", in *Ecological Informatics*, vol. 17, pp. 104-110. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.ecoinf.2011.04.001 [Accessed 13 September 2022].

Caragliu, A., Del Bo, C. and Nijkamp P. (2011), "Smart Cities in Europe", in *Journal of Urban Technology*, vol. 18,

issue 2, pp. 65-82. [Online] Available at: doi.org/10.1080/10630732.2011.601117 [Accessed 13 September 2022].

D'Amico, G., L'Abbate, P., Liao, W., Yigitcanlar, T. and Ioppolo, G. (2020), "Understanding Sensor Cities – Insights from Technology Giant Company Driven Smart Urbanism Practices", in *Sensors*, vol. 20, issue 16, article 4391, pp. 1-24. [Online] Available at: doi.org/10.3390/s20164391 [Accessed 13 September 2022].

Hughes, S., Sarah, G. and Tozer, L. (2020), "Accountability and data-driven urban climate governance", in *Nature Climate Change*, vol. 10, issue 12, pp. 1085-1090. [Online] Available at: dx.doi.org/10.1038/s41558-020-00953-z [Accessed 13 September 2022].

Jing, C., Du, M., Li, S. and Liu, S. (2019), "Geospatial Dashboards for Monitoring Smart City Performance", in *Sustainability*, vol. 11, issue 20, article 5648, pp. 1-23. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su11205648 [Accessed 13 September 2022].

Kitchin, R., Maalsen, S. and McArdle, G. (2016), "The praxis and politics of building urban dashboards", in *Geoforum*, vol. 77, pp. 93-101. [Online] Available at: dx.doi.org/10.1016/j.geoforum.2016.10.006 [Accessed 13 September 2022].

Kitchin, R., Lauriault, T. P. and McArdle, G. (2015), "Knowing and governing cities through urban indicators, city benchmarking and real-time dashboards", in *Regional Studies, Regional Science*, vol. 2, issue 1, pp. 6-28. [Online] Available at: dx.doi.org/10.1080/21681376.2014.983149 [Accessed 13 September 2022].

Kourtit, K. and Nijkamp, P. (2018), "Big data dashboards as smart decision support tools for i-cities – An experiment on Stockholm", in *Land Use Policy*, vol. 71, pp. 24-35. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.10.019 [Accessed 13 September 2022].

Lafortune, G., Fuller, G., Schmidt-Traub, G. and Kroll, C. (2020), "How is Progress towards the Sustainable Development Goals Measured? Comparing Four Approaches for the EU", in *Sustainability*, vol. 12, issue 18, article 7675, pp. 1-24. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su12187675 [Accessed 13 September 2022].

Locka, O., Bednarz, T., Leao S. Z. and Pettit, C. (2020), "A review and reframing of participatory urban dashboards", in *City, Culture and Society*, vol. 20, article 100294, pp. 1-10. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.ccs.2019.100294 [Accessed 13 September 2022].

Matheus, R., Janssen, M. and Maheshwari, D. (2020), "Data science empowering the public – Data-driven dashboards for transparent and accountable decision-making in smart cities", in *Government Information Quarterly*, vol. 37, article 101284, pp. 1-9. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.giq.2018.01.006 [Accessed 13 September 2022].

Pluto-Kossakowska, J., Fijałkowska, A., Denis, M., Jaroszewicz, J. and Krzysztofowicz, S. (2022), "Dashboard as a Platform for Community Engagement in a City Development – A Review of Techniques, Tools and Methods", in

Sustainability, vol. 14, issue 17, 10809, pp. 1-33. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su141710809 [Accessed 07 October 2022].

Sarikaya, A., Correll, M., Bartram, L., Tory, M. and Fisher, D. (2018), "What Do We Talk About When We Talk About Dashboards?", in *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 25, issue 1, pp. 682-692. [Online] Available at: doi.org/10.1109/TVCG.2018.2864903 [Accessed 13 September 2022].

Schokker, J., Kamilaris, A. and Karatsiolis, S. (2022), "A Review on Key Performance Indicators for Climate Change", in Wohlgenuth, V., Naumann, S., Behrens, G. and Arndt, H-K (eds), *Advances and New Trends in Environmental Informatics – A Bogeyman or Saviour for the UN Sustainability Goals?*, Springer, Cham, pp. 273-292. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-030-88063-7_17 [Accessed 13 September 2022].

UN – General Assembly (2015), *Transforming our world – The 2030 Agenda for Sustainable Development*, document A/RES/70/1. [Online] Available at: un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E [Accessed 13 September 2022].

Young, G. W. and Kitchin, R. (2020), "Creating design guidelines for building city dashboards from a user's perspectives", in *International Journal of Human-Computer Studies*, vol. 140, pp. 1-17. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.ijhcs.2020.102429 [Accessed 13 September 2022].

Young, G. W., Kitchin, R. and Naji, J. (2021), "Building City Dashboards for Different Types of Users", in *Journal of Urban Technology*, vol. 28, issue 1-2, pp. 289-309. [Online] Available at: doi.org/10.1080/10630732.2020.1759994 [Accessed 07 October 2022].

Zygiaris, S. (2013), "Smart City Reference Model – Assisting Planners to Conceptualize the Building of Smart City Innovation Ecosystems", in *Journal of the Knowledge Economy*, vol. 4, pp. 217-231. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s13132-012-0089-4 [Accessed 13 September 2022].

CONOSCENZA E RILEVAMENTO SMART PER UNA CITTÀ ACCESSIBILE

Sperimentare sul territorio del Friuli Venezia Giulia

KNOWLEDGE AND SMART SENSING FOR AN ACCESSIBLE CITY

Experimenting on the territory of Friuli Venezia Giulia

Mickeal Milocco Borlini, Christina Conti

ABSTRACT

Il contributo presenta in modo critico lo stato dell'arte attraverso i risultati di alcune ricerche applicate finanziate con fondi pubblici in ambiti legati al concetto di innovability inteso come approccio 'innovativo' all'accessibilità ambientale dei luoghi urbani; condizione questa funzionale alla pianificazione, attuazione e gestione dei contesti urbani dal punto di vista ambientale ed economicamente 'sostenibile'. Attraverso queste esperienze è possibile dare un quadro sufficientemente approfondito degli strumenti ICT adottati e delle potenzialità degli strumenti e delle esperienze realizzate, focalizzando l'attenzione sui bisogni degli utenti e sulla valutazione delle prestazioni urbane/ambientali nei centri urbani di media dimensione. I casi studio riportati mostrano l'alto potenziale dell'informatizzazione dei processi di gestione urbana 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. Questi risultati presentano alcune possibili azioni sull'interfaccia e sulla governance dell'ambiente costruito dall'uomo per progettare una città futura 'intelligente', 'innovativa' e 'sostenibile'.

The contribution presents state-of-the-art critically through the results of some applied research financed with public funds in areas related to the concept of innovability understood as an 'innovative' approach to the environmental accessibility of urban places. This condition is functional to planning, implementing, and managing urban contexts from an environmental and economically 'sustainable' point of view. Through these experiences, it is possible to give a sufficiently an in-depth picture of the ICT tools adopted, and the potential of the tools and experiences created. Focusing on users' needs and evaluating urban/environmental performance leads to evaluating the current situation in medium-sized urban centres. The reported case studies show the high potential of computerisation of the urban management processes, which does not correspond to a convincing social, economic, political and cultural context due to its partial and inefficient application of ICT. These results present some possible actions on the interface and governance of the human-built environment to design a future 'smart', 'innovative' and 'sustainable' city.

KEYWORDS

accessibilità, inclusione sociale, approccio human-centred, pianificazione, piattaforme digitali

accessibility, social inclusion, human-centred approach, planning, digital platforms

Mickeal Milocco Borlini, Architect and PhD, is a Lecturer in Interior Design at the Cardiff School of Art and Design of Cardiff Metropolitan University (UK) and carries out research on 'contextual studies' and 'design-for-all'. Email: mmiloccoborlini@cardiffmet.ac.uk

Christina Conti, Architect and PhD, is an Associate Professor of Architecture Technology at the Polytechnic Department of Engineering and Architecture of the University of Udine (Italy). She carries out research activities in the field of technological design with attention to the innovation of inclusive environmental systems and she is the author of several publications and is the responsible for the DALT Laboratory of the DPIA. Mob. +39 331/616.32.63 | Email: christina.conti@uniud.it



Innovability[®] è un neologismo derivato dalla sincresi dei termini 'innovazione' e 'sostenibilità', espressione di requisiti essenziali per una progettazione coerente con gli indirizzi internazionali della Agenda ONU per lo sviluppo sostenibile 2030 (UN, 2015) e riconducibile alle aspettative dei più recenti programmi nazionali della ricerca, tipo dal Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza – PNRR (Repubblica Italiana, 2021), per la realizzazione di ambienti, beni, e servizi equi e inclusivi. Nella contemporaneità dell'architettura emerge evidente il riferimento dell'innovazione alla sostenibilità che, nell'ambito della progettazione tecnologica, guarda necessariamente all'ambiente (Sinopoli and Tatano, 2002) e di conseguenza anche alla valorizzazione del patrimonio esistente (Germanà and Prescia, 2021) se si considera il necessario contenimento delle risorse nonché il potenziale derivato in termini di attrattività di questi particolari Beni. In questo macro-quadro di riferimento si collocano anche gli approfondimenti sulla fruizione dei centri urbani finalizzati alla messa a punto di nuovi processi di gestione dei servizi e delle infrastrutture territoriali della PA (Pubblica Amministrazione) con l'ormai imprescindibile utilizzo di sistemi informatizzati per il rilievo delle esigenze degli utenti e la valutazione delle prestazioni ambientali urbane.

È questo un passaggio fondamentale rispetto all'approccio sistemico di progetto e alla necessaria attualizzazione dei sistemi di gestione della PA che contraddistingue alcune delle ricerche condotte dal Laboratorio DALT² (Fig. 1) sulla progettazione inclusiva e accessibilità ambientale per una revisione avanzata dei sistemi di pianificazione e di processo della 'governance'. Ci si riferisce a progetti di ricerca sviluppati a seguito degli studi che hanno contraddistinto il primo periodo di attività del Laboratorio indirizzati ad acquisire le competenze disciplinari necessarie nello specifico dei contenuti sistemici di integrazione spaziale e inclusione funzionale; studi che hanno permesso di costruire una base di dati sufficiente per una ricerca avanzata rispetto ai riferimenti internazionali, collocando i diversi gruppi di lavoro del Laboratorio nella rete di sperimentazione interdisciplinare nazionale³ e disciplinare della Tecnologia dell'Architettura⁴ e offrendo competenze adeguate rispetto alle aspettative del territorio. L'apertura verso l'esterno e la collaborazione con soggetti potenziali Enti decisori ha a sua volta permesso di accedere a risorse tali da permettere l'applicazione delle competenze in contesti reali per sperimentazioni interdisciplinari, multi-scalari e multiprofessionali nello specifico dell'accessibilità ambientale.

Il presente contributo mira a investigare quali siano le possibili sperimentazioni future per progredire verso una maggiore integrazione degli aspetti ICT (Information Communication Technology) nella pianificazione dell'accessibilità urbana, con riguardo ai processi di nuova generazione come il 'machine learning', strumento utile per la raccolta di dati immediati sullo stato dell'ambiente urbano attraverso i propri 'utenti'. L'articolo definisce in prima istanza il contesto scientifico e culturale entro il quale si sono avviate alcune sperimentazioni di ricerca; si prosegue con la definizione degli obiettivi, delle metodologie ICT applicate e l'identificazione delle possibili evoluzioni innovative per un sistema dell'accessibilità sempre più connesso, aggiornato e inclusivo.

Contesto scientifico: l'accessibilità ambientale, una occasione per sperimentare | Per poter comprendere la sperimentazione compiuta nello specifico della connettività e del rilevamento intelligente si ritiene opportuno introdurre l'ambito dell'accessibilità ambientale identificandone i limiti così da poter meglio comprendere il contesto di riferimento. In quest'ultimo si collocano le esperienze ICT di rilievo delle esigenze degli utenti, della conoscenza dei luoghi e degli spazi, della restituzione delle indicazioni prestazionali nonché della restituzione delle informazioni alla PA e agli utenti cittadini. L'Accessibilità ambientale per una progettazione inclusiva di Beni, spazi e servizi è un ambito dedicato e integrante del progetto di architettura che con un obiettivo inclusivo mira a realizzare soluzioni integrate per una fruizione confortevole, salubre e sicura al maggior numero di persone possibile, nel rispetto dei principi della Progettazione Universale; quest'ultima è definita nell'articolo 2 della Convenzione ONU sui diritti delle persone con disabilità⁵ (UN, 2006) quale progettazione di prodotti, strutture, programmi e servizi utilizzabili da tutte le persone, nella misura più estesa possibile, senza bisogno di adattamenti o di progettazioni specializzate.

Contesto internazionale e nazionale | Le sperimentazioni sull'accessibilità ambientale si basano su un approccio sistemico esigenziale/prestazionale con l'obiettivo di produrre soluzioni architettoniche e urbane 'pesate' per tutte le persone (Norman, 2004; Church and Marston, 2003; Lid and Solvang, 2016; Velho, 2019); ne emerge che l'ambiente costruito è un bene comune (Lauria, 2017). Equità e inclusione sono alla base dello stato dell'arte internazionale e nazionale e si manifestano con lo scopo di garantire autonomia e indipendenza ai portatori di interesse (Conti and Tatano, 2018), cercando di interpolare i bisogni della collettività presa in considerazione con il contesto in cui svolge le proprie attività (ADB, 2017; Afacan and Afacan, 2011; Lid and Solvang, 2016; Salman, 2018). Definire le esigenze e le possibili soluzioni è una attività delicata che si basa sulla multi-professionalità degli attori coinvolti e delle loro competenze e interpola con la normativa vigente (Tab. 1).

Si evince che l'intero processo di definizione delle esigenze e delle possibili soluzioni deriva dalla partecipazione di diverse discipline, dei professionisti e soprattutto dei portatori di interesse; sono questi elementi ricorrenti delle diverse esperienze nazionali, siano esse di pianificazione/programmazione o applicate per la fruizione pubblica dei luoghi⁶ che compensano l'assenza di adeguati riferimenti normativi o supporti tecnici specializzati. Lo stesso approccio si dovrebbe applicare alle tecnologie informatiche di nuova e nuovissima generazione, per produrre degli applicativi che pesino le esigenze comunitarie con quelle tecnico-normative, per restituire un quadro il più bilanciato possibile.

Tali considerazioni conducono anche a diverse esperienze internazionali tra cui – a livello normativo – di rilievo è lo Equality Act (UK Government, 2010), nel quale sono espresse le normative e le buone pratiche contro ogni tipo di discriminazione. Importanti sono le parti 11, 12 e 13 che si focalizzano sulle disabilità con riferimento specifico all'ambiente costruito. Dal punto di vista

dell'innovazione ICT a livello internazionale si possono citare strumenti di mappatura urbana che hanno il fine di realizzare un database utile sia per i cittadini sia per i tecnici, ridefinendo così l'accessibilità intesa anche come possibilità di raggiungimento del dato più aggiornato nel minor tempo possibile. Tra questi si possono citare Maphaton, AccessMap e OpenSideWalks⁷ che ridefiniscono l'esperienza potenziale dello e nello spazio urbano per tutti gli utenti; gli applicativi suggeriscono percorsi e limiti dell'itinerario scelto. Infine la città di Amsterdam ha reso pubbliche delle mappe urbane che riportano con una scala di colore le aree più o meno accessibili (a piedi, in bicicletta e così via); il progetto si chiama 'termometro per l'accessibilità'.

Il primo comune denominatore dei progetti citati è la libera fruizione dei dati per il cittadino e conseguentemente la loro accessibilità: sono sistemi 'open-access' che ricostruiscono un quadro urbano – ma focalizzato – il più aggiornato possibile; in aggiunta, il facile utilizzo e l'esperienza virtuale di ricerca sulle piattaforme sopracitate è essenziale e di interesse per lo sviluppo, in ambito nazionale, di 'software' di semplice accesso. Il secondo comune denominatore è la restituzione grafica del dato, spesso esplicitata con un 'termometro di colori' che spazia dal rosso (non accessibile) al verde (accessibile); questo ultimo punto è di comprensione universale con conseguenti soluzioni efficaci ed efficienti di comunicazione dei dati come per AccessMap e OpenSideWalks. Le criticità che si possono evidenziare non sono legate ai contenuti ma allo stoccaggio e alla condivisione dei dati.

È evidente che questi progetti siano sviluppati in maniera precisa e focalizzata sulle specifiche esigenze del territorio, soprattutto perché progetti pilota, ma sarebbe auspicabile che piattaforme di simile fattura possano comunicare tra di loro su ambiti territoriali (e nazionali) più ampi; questo per poter restituire informazione sulle buone pratiche e su casi di studio trasferibili e/o replicabili (ove possibile) in altre realtà. In breve sarebbe auspicabile l'integrazione di un secondo livello di dati che raccoglie non solo macro-criticità ma anche elementi più specifici e puntuali (es. palo della luce, rastrelliera, ecc.) e un ventaglio di schede di buone pratiche e linee guida per possibili futuri interventi a integrazione e supporto del lavoro dei professionisti e dei ricercatori del settore. Quest'ultimo processo multi-livello è in fase di sperimentazione nelle più recenti ricerche del Laboratorio DALT, dell'Università degli Studi di Udine.

Contesto locale | La dimensione dell'Università degli Studi di Udine e il contesto provinciale di riferimento ha agevolato l'avvicinamento tra la ricerca e la sua applicazione rafforzando i rapporti locali con gli operatori del settore e i servizi di gestione delle infrastrutture e dei servizi alla persona (Conti, 2018) e dando l'avvio a una serie di ricerche sulla progettazione inclusiva e l'accessibilità dei centri urbani. La Tabella 2 è esplicativa delle ricerche a cui si riferisce il presente contributo e che sono parte integrante di accordi di collaborazione del DPIA (Dipartimento Politecnico di Ingegneria e Architettura) dell'Università degli Studi di Udine con la PA.

L'ambito specifico delle ricerche nonché il contesto attuale ha richiesto la sperimentazione



Fig. 1 | Logo of the DALT Laboratory, research facility on environmental accessibility and inclusive design of the DPIA, University of Udine (graphic design by P. Barcarolo; credit: the Authors 2022).

1980	International Classification of Impairments, Disabilities and Handicaps (ICIDH)
1986	Italian Law n° 41 introduces PEBA integrated in 1992 with Law 104
1989	Standards for the removal of architectural barriers (Italian Law 13/89, DM 236/89, DM 503/96)
2001	International Classification of Functioning, Disability and Health (ICF)
2006	UN Convention
2018	Law n° 10 of the FVG region on environmental accessibility

Tab. 1 | Main regulatory references (credit: the Authors, 2022).

Next page

Tab. 2 | Scheme of DALT Lab Research funding and programs (credit: the Authors, 2022).

di strumenti innovativi per la connettività dei servizi, la conoscenza dei contesti e il rilevamento intelligente delle criticità con conseguente programmazione delle azioni di progetto per la loro risoluzione. Un confronto continuo interdisciplinare con l'area medica per la didattica infermieristica (Figg. 2-6), e con le ingegnerie della comunicazione e informazione e la partecipazione con i portatori di interesse, è un aspetto imprescindibile (Figg. 7, 8); specifico in queste ricerche è il coinvolgimento degli Enti gestori della PA, degli operatori del settore e in generale degli utenti/cittadini con attenzione dedicata alle persone disabili perché il soddisfacimento dei bisogni delle persone più "fragili" concorre in maniera rilevante al soddisfacimento dei bisogni della collettività (Baratta, Conti and Tano, 2019).

Le occasioni di condivisione con i portatori di interesse hanno permesso di delineare il quadro di riferimento per una concreta applicabilità degli strumenti a disposizione con conseguente potenziamento strumentale dei processi. Cogliendo l'oc-

casione della pianificazione dell'accessibilità ambientale dei centri urbani (PEBA)⁸ la scelta è stata di individuare gli attuali strumenti informatici disponibili in coerenza con i principali indirizzi tecnologici, tenendo conto delle necessità di revisione/aggiornamento dei processi di gestione dei piani della PA e delle diverse criticità di rilievo. La progettazione dei PEBA si fonda su un modello consolidato di individuazione delle aree su cui compiere la programmazione degli interventi, il rilievo delle criticità (Figg. 9-12), la progettazione delle soluzioni di dettaglio con relativa definizione dei costi nonché delle priorità di intervento rispetto agli obiettivi del piano stesso. In ambito urbano e di pianificazione, lo sviluppo tecnologico e l'innovazione dei più recenti sistemi informatici sono essenziali per potenziare la programmazione dei servizi urbanistici e infrastrutturali generando un database di informazioni in continuo aggiornamento e accessibile non solo dai tecnici o dai professionisti ma anche dai cittadini, con l'intento di tracciare e rendere visibili lo stato dei processi urbani.

L'integrazione più avanzata con sistemi di 'machine learning' nei processi di rilevamento delle criticità è stata solo ipotizzata e superficialmente indagata con la consapevolezza che i risultati dell'innovazione tecnologica/informatica determinano gli indirizzi di ricerca delle altre discipline scientifiche e richiede, per l'effettiva sperimentazione applicata, un periodo temporale abbastanza ampio per essere comprese nelle loro più articolate potenzialità funzionali (Baratta, Finucci and Magarò, 2021).

Originalità e limiti | Nell'organizzazione dei contenuti si riconosce l'azione più originale delle ricerche mancando a tutti gli effetti una struttura riconosciuta che definisca e organizza tutti gli elementi del progetto dell'accessibilità dei luoghi (strutture edilizie e spazi aperti urbani) in relazione al loro potenziale abilitante di inclusione; a seguire l'organizzazione delle competenze nello specifico delle soluzioni di progetto partendo dai numerosi applicativi esistenti (ad esempio GIS – Georeferenced Information System) e l'attenzione a restituire il quadro generale esigenziale/prestazionale delle strutture edilizie e dei luoghi urbani, tenendo conto della soggettività delle esigenze degli utenti e della specificità delle soluzioni di dettaglio che devono essere integrate e non conformi per poter ottenere l'effettiva inclusione del progetto.

Obiettivi | Su queste premesse gli obiettivi applicati delle ricerche sull'accessibilità urbana indirizzano su due possibili ambiti prevalenti di azione: l'innovazione digitale a carattere generale in cui l'informatizzazione è dei sistemi di ausilio alla persona e quindi dedicato agli utenti cittadini; i sistemi avanzati di ICT per le azioni di rilievo e gestione dei dati destinato ai servizi della 'governance'. L'obiettivo di rilievo delle prestazioni ambientali in relazione ai bisogni delle persone ha focalizzato la ricerca sui sistemi di rilievo e di gestione dei dati facendo emergere le opportunità e le criticità d'uso nei contesti delle PA in centri di media dimensione caratteristici del contesto provinciale di riferimento. Il disallineamento tra le potenzialità funzionali delle ICT e l'effettiva applicabilità delle stesse è fin da subito risultato evidente a causa dell'intrinseco scostamento temporale tra la messa a punto degli strumenti innovativi e la loro applicazione. Un disallineamento che, una volta compreso, ha permesso di avviare importanti interlocuzioni con le Amministrazioni per indirizzare possibili investimenti strutturali e ottimizzare quelli esistenti senza mai perdere di vista gli obiettivi per allinearli alle avanzate aspettative internazionali e organizzarli funzionalmente ai sistemi informatici.

Per giungere a tale risultato il percorso di ricerca si è concentrato in prima istanza sugli elementi che determinano l'interazione persona/ambiente (Milocco Borlini and Tubaro, 2022) definendo esigenze e prestazioni organizzate per essere messe a disposizione delle ricerche applicate (Tab. 2). Se nella prima fase l'impiego dei sistemi informatici di rilievo è il risultato di una consapevolezza d'uso riconducibile alle competenze individuali degli operatori e degli utenti, nella collaborazione con la Regione Friuli Venezia Giulia (FVG) emerge evidente l'importanza del supporto dedicato messo a disposizione dalla Regione stessa e che ha coinvolto operativamente INSIEL⁹ con conseguente qualificazione dei supporti informa-

Period	Contract	Proposing Institution	Objective	ICT Tolls adopted	UNIUD Working Group
2018-2023	Collaboration for research activities	CRAD FVG In collaboration with CRIBA FVG	Development of projects for the dissemination of the culture of accessibility and inclusive planning	Depending on the projects with a prevailing focus on web sharing and use of the cloud	DALT lab. P.I. C. Conti
2019-2021	Framework agreement. Regione FVG, Università degli Studi di Trieste & Università degli Studi di Udine	FVG Region and University of Trieste (Regione FVG Direzione centrale infrastrutture e territorio, Servizio politiche per la rigenerazione urbana, la qualità dell'abitare e le infrastrutture per l'istruzione)	Integration and coordination of activities in order to implement the general accessibility mapping project referred to in Article 6 of Regional Law 10/2018 and ensure the effective pursuit of regional policies on accessibility in the urban planning and building.	None	DALT laboratory
Still in progress following a three-year renewal	Regional Law 10/2018 art. 5, paragraph 5				P.I. C. Conti
2020-2022	Operating agreement in implementation of the 2019-2021 framework agreement. Regione FVG, Università degli Studi di Trieste and Università degli Studi di Udine	FVG Region and University of Trieste (Regione FVG Direzione centrale infrastrutture e territorio, Servizio politiche per la rigenerazione urbana, la qualità dell'abitare e le infrastrutture per l'istruzione) In collaboration with CRIBA FVG	Application of a permanent detection and monitoring system of architectural barriers, aimed at implementing the general accessibility mapping project pursuant to Regional Law 10/2018 and its uniform execution throughout the region	INSIEL database management and programming system; INSIEL web portal design systems; graphic design and representation software; web sharing and communication; cloud sharing	DALT lab. P.I. C. Conti T. Sambrotta (Research grant) S. Cioci (Research scholarship) The working group of the University of Udine worked in synergy with the working group of the University of Trieste, P.I. I. Garofolo with E. Marchigiani
2022-2025	Operating agreement in implementation of the 2019-2021 framework agreement. Regione FVG, Università degli Studi di Trieste and Università degli Studi di Udine	FVG REGION and University of Trieste (Regione FVG Direzione centrale infrastrutture e territorio, Servizio politiche per la rigenerazione urbana, la qualità dell'abitare e le infrastrutture per l'istruzione) In collaboration with CRIBA FVG	Establishment of an observatory for the analysis and monitoring of the quality of the PEBA's. Construction and adoption of a structured methodology for analysis and quality monitoring; convergence with the general accessibility mapping system and support for the actions envisaged by the Regional Law no. 10/2018	The research is in the preliminary phase and it will liaise with INSIEL	DALT lab. P.I. C. Conti (Research scholarship and grant) The working group of the University of Udine worked in synergy with the working group of the University of Trieste, P.I. I. Garofolo with E. Marchigiani
2020-2021	Implementation agreement between the Municipality of Udine and UNIUD	Municipality of Udine	Preparatory study aimed at drafting the PEBA	Digital meters, go-pro video camera; tablet device with camera GIS, QGIS	DALT lab. P.I. C. Conti A. Pecile and S. Cioci (Research grant)
2019-2020	Funding from the FVG Region pursuant to Regional Law 34/2015 Call 2018	FVG Region	Urban construction site: ergonomics and human factors, technological innovation and building process		P.I. G. Tubaro M. Milocco Borlini (Research grant)
2020-2021	Funding from the FVG Region pursuant to Regional Law 34/2015 Call 2019	FVG Region	Inclusive living. Studies on inclusive planning for the autonomy of disabled people in residential environments	Digital meters, go-pro video camera; tablet device with camera GIS, QGIS	P.I. C. Conti M. Milocco Borlini (Research grant)



Figg. 2-4 | Seniority kit for the Udine Nursing Course: Motor deficit simulation; Simulation of visual problems; Hand tremor simulation (credits: S. Fabris, 2022).



tici e restituzione di un risultato 'user friendly'. Di rilievo è l'interdisciplinarietà di questo processo che ha permesso un confronto multiprofessionale partendo dalla necessità di una definizione terminologica condivisa e dalla messa a punto di abachi organizzati in contenuti elaborati informativamente e consultabili dai servizi delle PA e dagli utenti finali.

L'originalità della ricerca deve essere identificata nei diversi risultati disciplinari di sistematizzazione dei dati inerenti alle esigenze e alle prestazioni delle soluzioni di dettaglio organizzati per essere informatizzati. Il potenziale innovativo risiede quindi nelle attività di definizione di contenuti propri dell'accessibilità ambientale, esso stesso ambito in continua revisione contenutistica e dalle regole ormai ben definite che riconducono alla progettazione architettonica piuttosto che alla formulazione di soluzioni conformi. I paradigmi dell'accessibilità sono disponibili nella letteratura scientifica internazionale (Church and Marston, 2003; Lid and Solvang, 2016; Velho, 2019) che mette a disposizione anche un adeguato apparato manualistico¹⁰ che però non offre un quadro esigenziale/prestazionale completo e non trova il corretto riscontro nella legislazione nazionale (Legge 13/1989; D.M. 236/1989; D.P.R. 503/1996).

Innovazione ICT e risultati acquisiti | L'innovazione informatica in questi contesti è quindi di tipo strumentale alla originalità dei contenuti di progettazione tecnologica che necessariamente devono mettere in relazione gli indirizzi di progetto con le modalità di interazione dell'informatica. L'innovazione ICT dei sistemi di connettività, conoscenza e rilievo con conseguente restituzione dei contenuti all'utente diviene innovazione architettonica nel momento in cui il potenziale funzionale è coerentemente trasferito nel processo completo dei contenuti propri di sistemi evoluti e avanzati. Da qui l'attualità di indagare le connessioni nell'ambito dell'accessibilità ambientale che è un tema

proprio della progettazione. L'impiego di sistemi informatici può essere considerato quindi una parte integrante del percorso evolutivo disciplinare e multiprofessionale delle aree sociopolitiche, mediche, ingegneristiche e quelle proprie dell'architettura quali la tecnologia dell'architettura, l'urbanistica, la composizione e il restauro.

Nell'insieme le esperienze condotte restituiscono al panorama internazionale della ricerca i risultati di un percorso che parte dalle competenze dell'accessibilità ambientale, con attenzione approfondita alle potenzialità derivate da una corretta relazione tra l'ambiente e la persona (Milocco Borlini and Tubaro, 2019) e coglie l'occasione dell'obbligatorietà nazionale della pianificazione PEBA e gli indirizzi normativi locali per proporre alla 'governance' un approccio avanzato con uso di sistemi informatici per la riorganizzazione dei processi. Il riconoscimento locale dei risultati emerge dalla loro effettiva applicazione e dalla loro replicabilità.

Discussione: conoscere i bisogni delle persone per restituire soluzioni abilitanti |

Chiarite le potenzialità dell'accessibilità ambientale si rende necessario considerare quali siano le metodologie più adatte alla creazione di un database che può restituire le informazioni raccolte durante le attività di partecipazione. Dagli esiti delle prime ricerche (Tab. 2) si evince che una metodologia 'user-centred' è fondamentale per la definizione dei bisogni della popolazione; ad approcci più analogici di rilievo sono stati associati approcci informatizzati con l'utilizzo di strumenti digitali (misuratori, video-fotocamere, etc.) e software GIS per restituire una mappatura geo-riferita sulle cartografie esistenti. Si evidenzia come la possibile e futura integrazione di software progettati specificatamente per la raccolta dei dati soggettivi degli utenti sia essenziale.

A scala nazionale vi sono già degli applicativi in utilizzo, ma la loro limitazione risiede in alcuni casi alla semplice raccolta oggettiva del dato (rilievo professionale svolto dal tecnico) e in altri casi in

un mancato approfondimento delle competenze disciplinari dell'accessibilità ambientale. Questo comporta un distacco dell'apparato informatico da quello scientifico (e sociale) ove, invece, si dovrebbe definire un processo integrato e integrante con attenzione alla 'pesatura' tra gli aspetti soggettivi (utente, portatore di interesse) e oggettivi (comunemente derivati dalle normative). In questo caso approfondimenti verso il 'machine learning' porterebbero allo sviluppo di applicativi che connettono il sistema direttamente con le PA, gli studiosi e i tecnici preposti, che si auto-aggiornano e che possono raccogliere i dati direttamente dall'utente in maniera passiva e continuativa.

L'interpolazione del dato soggettivo con quello tecnico/tecnologico, definito dalla normativa in validità, può essere restituita come parte di un processo che individua e pesa e 'ricalcola' continuamente le criticità urbane, definendone priorità e possibili futuri interventi per agire in maniera equa e sostenibile, ovvero dove ce n'è più bisogno. Soluzioni informatiche che 'apprendono', aggiornano e restituiscono un quadro delle necessità degli 'user' urbani possono indubbiamente divenire 'dispositivi abilitanti' per una fruizione equa ed inclusiva del corpus urbano.

Rilevare il contesto e individuare le criticità |

La sperimentazione inerente ai PEBA, compiuta per il Comune di Udine (Fig. 13), ha posto l'attenzione sull'importanza di restituire ai servizi della PA dei dati informatizzati che: descrivono il contesto urbano nello specifico dei servizi al cittadino; descrivono i diversi gradi di accessibilità delle diverse aree urbane individuando e geolocalizzando le singole criticità; permettono una interrogazione per tipologia di criticità così da poter valutare interventi dedicati o azioni mirate restituendo anche quelle criticità derivate da interventi strutturali e di manutenzione, d'arredo o allestimento temporaneo prestazionalmente inaccessibili. Tali dati sono stati raccolti e organizzati per le finalità del PEBA

tenendo conto dell'importanza della loro consultazione da parte dei diversi servizi del Comune (delle infrastrutture, dei servizi sociali, dell'istruzione, etc.) che, seppur non orientati specificatamente all'accessibilità, ne devono tenere conto. Ciò ha fatto emergere la necessità di una maggiore formazione degli operatori sulle tematiche dell'accessibilità per l'ottimizzazione dei risultati.

Gli approfondimenti derivati dal dialogo con la PA si basano sulla possibile revisione degli interventi di pianificazione che non si devono limitare a integrare i PEBA nei processi di trasformazione, ma devono tenere conto dei principi della progettazione universale anche in opere di manutenzione ordinaria e di arredo urbano. Nel dettaglio i risultati dell'applicazione informatica in fase di rilievo hanno permesso di delineare lo stato dell'accessibilità condizionando da un lato le scelte strategiche inerenti al PEBA, dall'altro costituendo la base di dati per poterla qualificare. Inoltre la mappatura georeferenziata e descrittiva di ogni singola criticità permette una interrogazione mirata estendendo la consultazione del database oltre gli obiettivi propri del PEBA (Figg. 14, 15). Dal punto di vista strumentale la ricerca si è avvalsa di sistemi correntemente adottati e di competenze proprie dei rilevatori che hanno guidato anche la fase di partecipazione dei cittadini mirata a raccogliere segnalazioni di specifiche criticità attraverso una scheda compilabile da dispositivo personale; non è mancata ovviamente la disponibilità ad accogliere anche schede compilate manualmente e inoltrate tramite posta elettronica.

Nell'insieme la sperimentazione indaga le potenzialità degli strumenti informatici ma non li esperisce completamente per l'assenza di competenze, a differenza di quanto accade con la regione FVG che ha messo a supporto della ricerca le competenze informatiche necessarie. Nel lungo termine le ricerche multidisciplinari che integrano le ICT, l'inclusione, l'accessibilità e le più recenti innovazioni nel campo del 'machine learning' potrebbero permettere una restituzione immediata ed estemporanea delle informazioni raccolte anche passivamente dagli utenti (dal loro 'smartphone' ad esempio) generando un corollario di dati utili a comprendere le dinamiche urbane e le ricorrenze (positive e negative) di uno o più gruppi specifici di utenti.

Conclusioni: restituire un processo connesso

| La pervadente digitalizzazione nei progetti e nelle ricerche offre importanti occasioni performanti di connessione tra i diversi soggetti coinvolti siano essi parte di processi di governo o utenti dei servizi. L'uso strumentale di sistemi avanzati concorre all'innovazione dei processi ma solo un confronto scientifico strutturato con le discipline ICT e applicato da chi le sa adottare permette di giungere a una ricerca interdisciplinare innovativa che intervenga sui contenuti, anticipando interazioni e contribuendo alla costruzione di un nuovo ecosistema digitale. Ancora molto lontani da un vero e proprio ecosistema digitale le esperienze compiute sono un primo tassello che restituisce un quadro completo e articolato immaginando possibili prossime azioni.

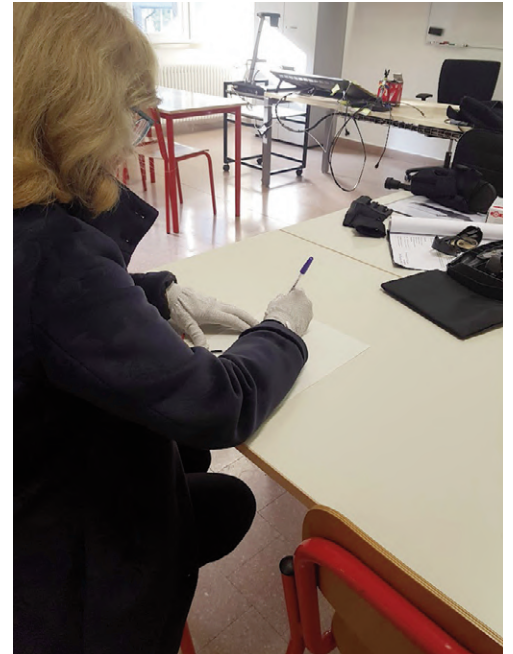
Con particolare riferimento alle strutture della PA, il primo ostacolo da superare non è l'inadeguatezza della formazione informatica degli operatori bensì l'inadeguato uso del potenziale deri-

vato dalla disponibilità di dati informatici; il problema è quindi processuale dei servizi della PA e non riconducibile ai contenuti o agli strumenti. Rispetto al progresso della ricerca l'interdisciplinarietà necessaria e specifica con le discipline delle ICT richiede chiarezza negli obiettivi, condivisione terminologica, linguistica e di comunicazione dei contenuti nonché definizione oggettiva degli elementi per una corretta restituzione informatica. Si esprime nuovamente l'importanza dello studio delle buone pratiche nazionali e interazionali (Figg. 16-22), nonché dei 'software' e delle piattaforme già disponibili, per adeguare le sperimentazioni nazionali verso una strutturazione più organica, diretta e accessibile frutto delle complessità delle ricerche in corso. Inoltre non si può prescindere da una corretta comunicazione dei contenuti virtuali e non con azioni di revisione linguistica e terminologica.

Una maggiore spinta verso l'innovazione tecnologica e verso sistemi che apprendono autonomamente i processi e le dinamiche urbane (machine learning) porterebbe a un esponenziale

miglioramento delle 'performance' dei processi urbani e a una risposta immediata alle criticità presenti sul territorio partendo dalle segnalazioni dirette e indirette (attive e passive) da parte del fruitore dell'ambiente costruito. Il rischio per l'architettura, però, è che l'oggettività richiesta dai sistemi ICT avvicini il progetto alle soluzioni conformi dimenticandosi l'unicità di ogni architettura e la specialità di ogni singola persona.

Innovability[®]¹ is a neologism derived from the fusion of the terms 'innovation' and 'sustainability', an expression of essential requirements for a design consistent with the international guidelines of the UN Agenda for Sustainable Development 2030 (UN, 2015) and attributable to the expectations of more recent national research programs, such as the Italian National Recovery and Resilience Plan – PNRR (Repubblica Italiana, 2021), for the creation of fair and inclusive environments, goods and services. In the contemporaneity of ar-



Figg. 5, 6 | Simulations of disability conditions: experimentation by the authors (credits: the Authors, 2022).



Figg. 7, 8 | Participation session in the urban environment (credits: the Authors, 2022).



Figg. 9-12 | Frames extracted from the urban survey video with a go-pro camera set up on a wheelchair (credits: the Authors, 2022).

chitecture, the reference of innovation to sustainability emerges evidently in the field of technological design, and it necessarily looks to the environment (Sinopoli and Tatano, 2002) to the enhancement of existing heritage (Germanà and Prescia, 2021) and the necessary containment of resources including the potential derived in terms of the attractiveness of these assets. This macro-framework of reference also includes in-depth studies on the use of urban centres to set up new management processes for services and territorial infrastructures of the PA (Public Administration) with the current essential use of computerised systems for surveys of user needs, and evaluation of urban environmental performance.

The latter is a fundamental step concerning the systemic design approach and the necessary updating of the PA management systems that distinguishes some of the research conducted by the DALT² Laboratory (Fig. 1) on inclusive design and environmental accessibility for an advanced review of governance planning and processes. These research projects developed within the first years of activity of the Laboratory aimed at acquiring the disciplinary skills necessary for the systemic contents of spatial integration and functional inclusion. The outputs of these studies have made it possible to build a sufficient database for advanced research concerning international references, placing the various working groups of the Lab in the national interdisciplinary³ and dis-

ciplinary experimentation network of Technology of Architecture⁴ and offering good skills compared to expectations of the territory. Furthermore, the openness to the outside world and the collaboration with potential decision-making bodies have made it possible to access resources that apply skills in authentic contexts for interdisciplinary, multi-scalar and multi-professional experiments related to environmental accessibility.

This contribution aims to investigate what are the possible future experiments to progress towards greater integration of ICT (Information Communication Technology) aspects in urban accessibility planning concerning new-generation processes such as ‘machine learning’, a useful tool for the collection of immediate data on the state of the urban environment through its ‘users’. This article begins with defining the scientific and cultural context within which some research experiments developed; afterwards, it defines the objectives of the applied ICT methodologies and identifies possible innovative evolutions for an accessibility system that is increasingly connected, updated and inclusive.

Scientific context: environmental accessibility, an opportunity to experiment | To understand the experimentation carried out specifically in connectivity and intelligent detection, we consider it appropriate to introduce the scope of environmental accessibility by identifying its limits to

understand the reference context better. The latter includes ICT experiences relevant to the needs of users, knowledge of places and spaces, the return of performance indications, and the return of information to the PA and city users. Furthermore, considering environmental accessibility for an inclusive design of goods, spaces and services is a dedicated and integral area of the architectural project. With an inclusive objective, it aims to create integrated solutions for comfortable, healthy, and safe use by as many people as possible. These last concepts are furthermore possible by respecting the principles of Universal Design; the latter has a definition in Article 2 of the UN Convention on the Rights of Persons with Disabilities⁵ (UN, 2006) as the design of products, facilities, programs and services that can be used by all people, to the greatest extent possible, without the need for adaptations or specialised designs.

International and national context | Experiments on environmental accessibility are based on a systemic demand/performance approach to produce architectural and urban solutions weighted for all people (Norman, 2004; Church and Marston, 2003; Lid and Solvang, 2016; Velho, 2019); it emerges that the built environment is a common good (Lauria, 2017). Equity and inclusion are the basis of the international and national state of the art; they manifest to guarantee autonomy and independence to stakeholders (Conti

and Tatano, 2018), trying to interpolate the needs of the community taken into consideration with the context in which it carries out its activities (ADB, 2017; Afacan and Afacan, 2011; Lid and Solvang, 2016; Salman, 2018). Defining the needs and possible solutions is a delicate activity based on the multi-professionalism of the actors involved and their skills and interpolates with current legislation (Tab. 1).

It is clear that the entire process of defining needs and possible solutions derives from the participation of different disciplines, professionals and, above all the stakeholders. The recurring elements of the various national experiences – whether they are planned, programmed or applied for the public use of places⁶ – compensate for the absence of adequate regulatory references or specialised technical supports. The same approach should be applied to the new and unexplored generation of information technologies to produce applications that weigh the community needs with the technical-regulatory ones to restore a picture that is as balanced as possible.

These reflections also lead back to various international experiences, including – at a regulatory level – the Equality Act (UK Government, 2010), which expresses regulations and good practices against all types of discrimination. In addition, parts 11, 12 and 13 focus on disabilities with references specific to the built environment. Finally, from the point of view of ICT innovation at an international level, urban mapping tools are mentioned that have the purpose of creating a helpful database both for citizens and for technicians, thus redefining accessibility, also understood as the possibility of reaching the most updated data, in the shortest possible time. Among these, we mention Maphaton, AccessMap and OpenSideWalks⁷, which redefine the possible experience of and in the urban space for all users; the software applications mentioned above suggest routes and limits of the chosen itinerary. Ultimately, the city of Amsterdam has made public urban maps that show the more or less accessible areas with a colour scale (on foot, by bicycle, etc.); the project is called the ‘accessibility thermometer’.

The first common denominator of the projects cited above is the unrestricted use of data by citizens and consequently their accessibility. They are ‘open-access’ systems that reconstruct an urban – but focused – framework that is as updated as possible; additionally, the easy use and virtual experience of research on the platforms as noted above are essential and of interest for the development, at the national level, of easy-to-access ‘software’. The second common denominator is the graphic rendering of the data, often made explicit with a ‘colour thermometer’ ranging from red (not accessible) to green (accessible); this last point is of universal understanding with consequent effective and efficient data communication solutions as for AccessMap and OpenSideWalks. The critical issues that we highlight are not related to the contents but the data storage and sharing.

These software’s and databases are developed meticulously on the territory’s specific needs because they are pilot projects. However, it would be desirable for such platforms to communicate live and mutually in wider territorial (and national) areas to provide information on good practices

and case studies that can be transferred and replicated (where possible) in other circumstances. In short, it would be desirable to integrate the second level of data that collects not only macro-critical issues but also more specific and punctual elements (e.g. light pole, rack) and a range of good practice cards and lines guide for possible future interventions to integrate and support the work of professionals and researchers in this sector. This latter multi-level process is being tested in the most recent research projects of the DALT Laboratory of the University of Udine.

Local context | The size of the University of Udine and the local context of reference has facilitated the rapprochement between research and its application by strengthening local relationships with operators in the sector and the management services of infrastructures and personal services (Conti, 2018), and launching a series of research on inclusive design and accessibility of urban centres. Table 2 illustrates the study to which this contribution refers and is an integral part of the DPIA (Polytechnic Department of Engineering and Architecture) collaboration agreements of the University of Udine with the PA.

The specific field of research and the current context required the experimentation of innovative tools for the connectivity of services, knowledge of contexts and intelligent detection of critical issues with consequent planning of project actions for their resolution. A continuous interdisciplinary dialogue with the medical area for nursing teaching (Figg. 2-6), and with communication and information engineering and participation with stakeholders, is essential (Figg. 7, 8). This research project defines the essential involvement of public administration bodies, sector operators and users/citizens in general with attention dedicated to disabled people because the satisfaction of the needs of the most ‘fragile’ people contributes significantly to the satisfaction of the needs of the community (Baratta, Conti and Tatano, 2019).

The opportunities for sharing with stakeholders made it possible to outline the reference framework for concrete applicability of the tools available with a consequent instrumental enhancement of the processes. Taking the opportunity of planning the environmental accessibility of urban centres (PEBA)⁸, the choice was to identify the current IT tools available in line with the leading technological guidelines, taking into account the need for revision/updating of the management processes of the plans of the PA and the various significant criticalities. The design of the PEBA bases itself on a consolidated model for identifying the areas on which to carry out urban interventions, planning, the relief of criticalities (Figg. 9-12), and the design of detailed solutions with the relative definition of costs as well as intervention priorities concerning the objectives of the plan itself. In the urban and planning environment, technological development and innovation of the most current IT systems are essential to enhance the planning of urban and infrastructural services by generating a constantly updated information database accessible not only by technicians or professionals but also by citizens to trace and make visible the state of urban processes.

The most advanced integration with ‘machine learning’ systems in the criticality detection pro-

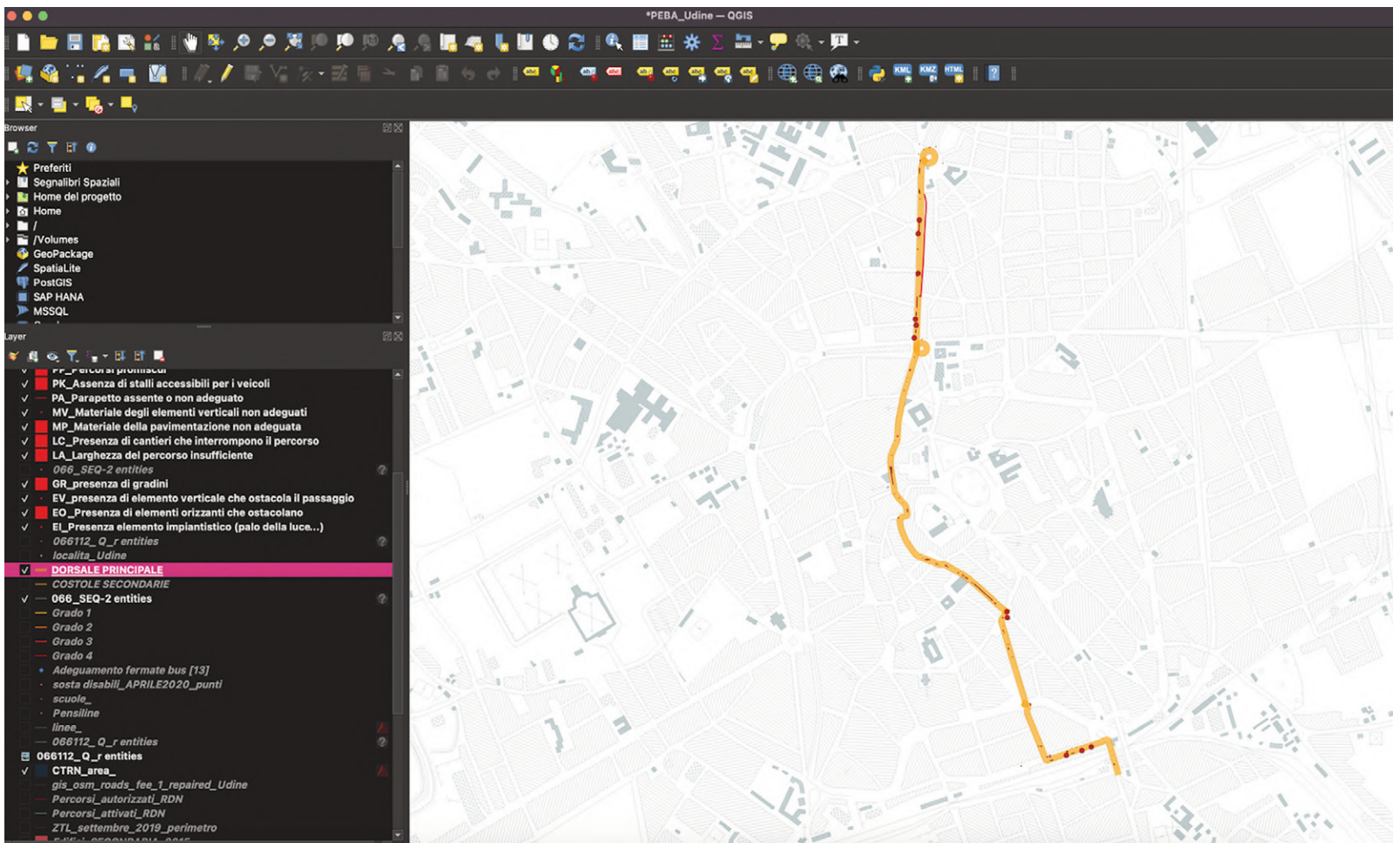
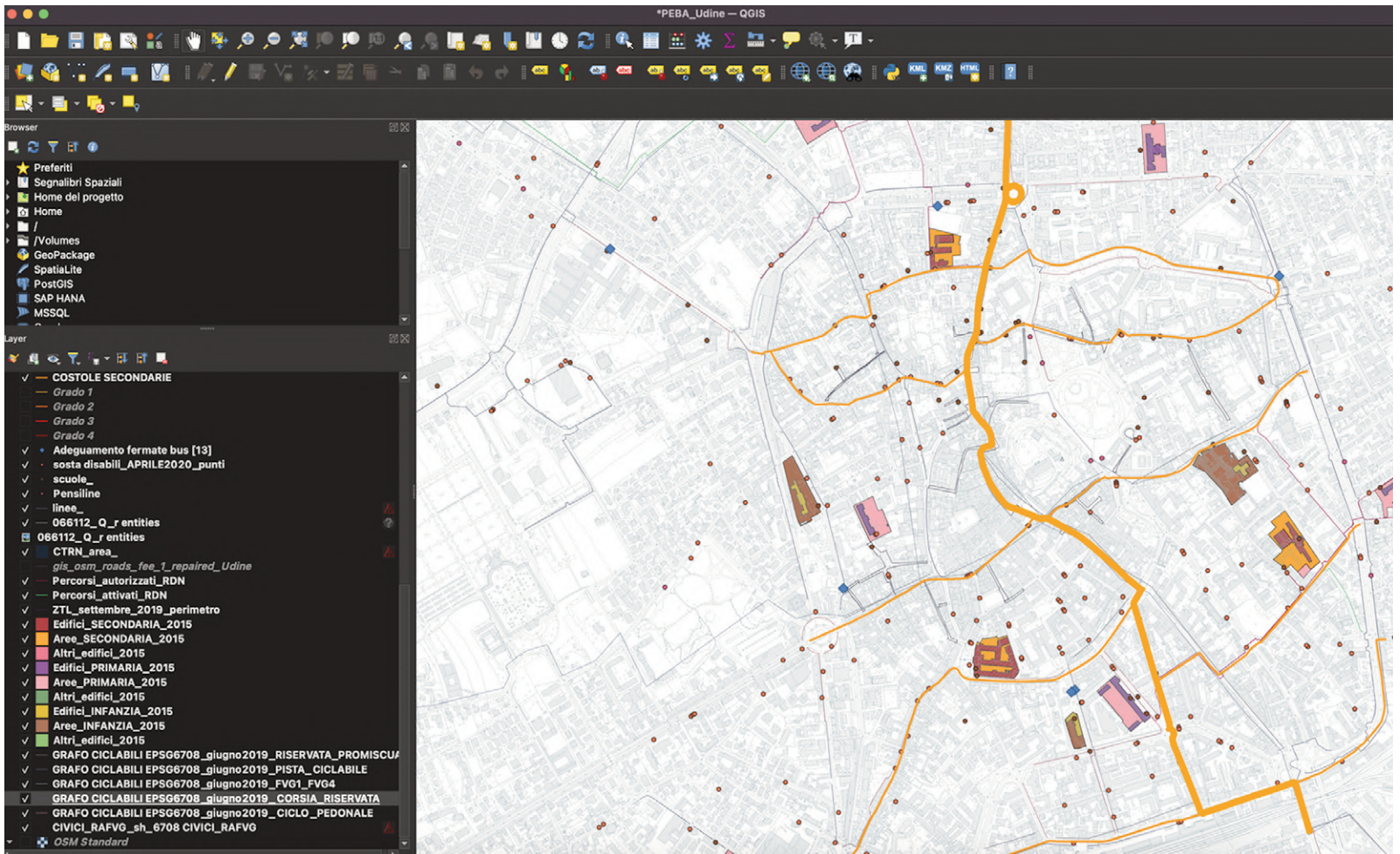
cesses has only been hypothesised and superficially investigated with the awareness that the results of technological/IT innovation determine the research directions of other scientific disciplines and require, for the applied experimentation, a period large enough to be understood in their most articulated functional potential (Baratta, Finucci and Magarò, 2021).

Originality and limits | The organisation of the contents recognise the most original action of the researchers in the absence of a recognised structure that defines and organises all the elements of the project of the accessibility of places (building systems and urban open spaces) regarding their enabling potential of inclusion. Following the organisation of skills specifically of the project, solutions starting from the numerous existing applications (e.g. GIS – Georeferenced Information System), the attention to return the general requirement/performance framework of the building structures and urban places takes into account the subjects ability of needs of users, and the specificity of the detailed solutions that must be integrated and non-compliant to obtain the effective inclusion of the project.

Objectives | On these premises, the applied purposes of the research on urban accessibility address two possible prevailing areas of action: digital innovation of a general nature where computerisation is aided to the person and therefore dedicated to city users; advanced ICT systems for surveying and data management actions intended for ‘governance’ services. The objective of surveying environmental performance concerning people’s needs has focused research on survey and data management systems, highlighting the opportunities and criticalities of use in the con-



Fig. 13 | Abitare Udine: Manifesto of the event participated in with the scientific community, citizens and stakeholders, professional associations and colleges and local administrations (credit: the Authors, 2022).



Figg. 14, 15 | Abitare Udine: extracts from the georeferenced database of citizen services and the georeferenced database of criticalities (credit: the Authors, 2022).



Fig. 16 | Example of urban accessibility in a historical context (credit: the Authors, 2022).

texts of the PA in medium-sized centres, characteristic of the local context of reference. The misalignment between the functional potential of ICT and the practical applicability was immediately evident due to the intrinsic time difference between the development of innovative tools and their application. Once understood, a misalignment has made it possible to initiate critical discussions with the Administrations to direct potential structural investments and optimise existing ones without ever losing sight of the objectives to align them with advanced international expectations and organise them functionally to the IT systems.

To achieve the result expressed above, the research process focused in the first instance on the elements that determine the person/environment interaction (Milocco Borlini and Tubaro, 2022); defining needs and services organised to be made available for applied research (Tab. 2). If, in the first phase, the use of relevant IT systems is the result of an awareness of use attributable to the individual skills of the operators and users, in collaboration with the Friuli Venezia Giulia Region (FVG), the importance of dedicated support is evident. Made available by the Region itself and operationally involved INSIEL⁹ with consequent qualification of the IT supports and return of a 'user-friendly' result. To elucidate this matter, the interdisciplinary nature of this process – which allows a multi-professional comparison – combines the need for a shared terminological definition, the development of virtual/online content schedules, and the release of the data for consultation by the PA and the end users.

The originality of this contribution is in the different disciplinary results of systematisation of the data ingrained to the needs and performance of the detailed solutions organised and computerised. Therefore, the innovative potential in defining the contents of environmental accessibility is an area in continuous content revision with well-defined rules that lead back to architectural de-

sign rather than to the formulation of compliant solutions. The paradigms of accessibility are available in the international scientific literature (Church and Marston, 2003; Lid and Solvang, 2016; Velho, 2019), which also provides an adequate manual apparatus¹⁰ which, however, does not offer a complete and non-complete need/performance framework. Finds the correct response in the national legislation (Italian Law 13/1989; D.M. 236/1989; D.P.R. 503/1996).

ICT innovation and achieved results | Information technology innovation in these contexts is therefore instrumental to the originality of the technological design contents, which must relate the project guidelines with the interaction methods of information technology. The ICT innovation of connectivity, knowledge and survey systems with consequent restitution of the contents to the user becomes architectural innovation when the functional potential is consistently transferred into the complete process of the contents of advanced and advanced systems. Hence, the relevance of investigating the connections around environmental accessibility is a design theme. The use of information systems can therefore be considered an integral part of the disciplinary and multi-professional evolutionary path of the socio-political, medical, engineering, and architectural areas such as architecture technology, urban planning, composition, and restoration.

Overall, the experiences carried out a return to the international research panorama. The results of a path that starts from the skills of environmental accessibility, with in-depth attention to the potential deriving from a correct relationship between the environment and the person (Milocco Borlini and Tubaro, 2019) and takes the opportunity of the mandatory national disposition of PEBA planning and local regulatory guidelines to propose an advanced approach to 'governance' with the use of IT systems for the reorganisation of processes. The local recognition of the results emerges from their practical application and replicability.

Discussion: knowing people's needs to return enabling solutions

Once the potential of environmental accessibility has been clarified, it is necessary to consider the most suitable methodologies for creating a database that can bear the information collected during participation activities. From the first research results (Tab. 2), it is clear that a 'user-centred' methodology is fundamental for defining the population's needs. Computerised approaches using digital tools (meters, video cameras) and GIS software to return a georeferenced mapping on existing cartographies have been associated with more analogical methods. It is highlighted that the possible and future integration of software designed specifically for collecting subjective user data is essential.

On a national scale, there are already applications in use. However, in some cases, their limitation lies in the simple objective collection of the data (professional survey carried out by the technician) and, in other cases, a lack of in-depth study of the disciplinary skills of environmental accessibility. The latter entails a detachment of the computer system from the scientific (and social) one where, instead, an integrated process should be defined with attention to the weighting between



Figgs. 17-19 | Examples of critical issues due to lack of communication between the various municipal services (credits: the Authors, 2022).



Fig. 20 | Example of environmental accessibility in a natural context with temporary aid (credit: the Authors, 2022).



Fig. 21 | Example of environmental accessibility in public open space (credit: the Authors, 2022).



Fig. 22 | Continuity of the pedestrian path, National Museum of XXI Century Arts, Rome (credit: the Authors, 2022).

the subjective (user, stakeholder) and objective (commonly derived from the regulations) aspects. In this case, in-depth studies towards 'machine learning' would lead to the development of applications that connect the system directly with the PAs, scholars and technicians in charge. Machine learning software self-updates and can collect data from the user passively and continuously.

The interpolation of the subjective data with the technical/technological one, defined by the valid legislation, can be returned as part of a process that identifies and weighs and continuously 'recalculates' urban criticalities, defining their priorities and possible future interventions, thus going to act fairly and sustainably, or where it is needed most. IT solutions that 'learn', update and return a picture of urban 'users' needs can undoubtedly become 'enabling devices' for fair and inclusive use of the urban corpus.

Detect the context and identify the criticalities

| The experimentation inherent to the PEBA, carried out for the Municipality of Udine (Fig. 13), has focused on the importance of returning computerised data to the PA services which: describe the urban context specifically of services to the citizen. They represent the different degrees of accessibility of the other urban areas, identifying and geolocalising the single criticalities; allowing a query by type of criticality to be able to evaluate dedicated interventions or targeted actions. Also returning those criticalities deriving from structural and maintenance interventions, furnishings or temporary outfitting performance inaccessible. These data were collected and organised for the PEBA, taking into account the importance of their consultation with the various services of the Municipality (infrastructures, social services, education), which, although not explicitly oriented towards accessibility, must take this into account.

These experiences highlighted the need for additional training of operators on accessibility issues to optimise results. The insights derived from the dialogue with the PA are based on the possi-

ble revision of the bread-making interventions that must not be limited to integrating the PEBA in the transformation processes. However, they must also consider universal design principles in ordinary maintenance and urban furniture works. In detail, the results of the IT application in the survey phase made it possible to outline the status of accessibility by conditioning, on the one hand, the strategic choices inherent to the PEBA and by constituting the database to be able to qualify it. In addition, the geo-referenced and descriptive mapping of every criticality allows a targeted query by extending the database's consultation beyond the PEBA's objectives (Fig. 14, 15). On the other hand, from an instrumental point of view, the research employed systems currently adopted, including the skills of the surveyors. The latter guided the participation phase with citizens aimed at collecting reports of specific critical issues through a form filled from a personal device; unmistakably, there was no willingness to accept forms filled in manually and sent by e-mail.

The experimentation investigates the potential of IT tools but does not fully experience them due to the lack of skills, unlike what happens with the FVG region, which has provided the necessary IT skills to support research. However, in the long term, multidisciplinary research that integrates ICT, inclusion, accessibility, and the most recent innovations in the field of 'machine learning' could allow an immediate and extemporaneous return of the information collected even passively by users (from their smartphones, for example) generating a corollary of data useful for understanding urban dynamics and recurrences (positive and negative) of one or more specific groups of users.

Conclusion: returning a connected process

The pervasive digitisation in projects and research offers meaningful performing opportunities for connection between the various subjects involved, whether they are part of government processes or service users. The instrumental use of advanced

systems contributed to the innovation of functions. However, only a structured scientific comparison with the ICT disciplines and applied with those who know how to adopt them allows aiming at innovative interdisciplinary research that intervenes in the contents; anticipating interactions and contributing to the construction of a new digital ecosystem. Still far from a natural digital ecosystem, the experiences made are a first step that returns a complete and articulated picture, imagining possible subsequent actions.

With particular reference to the structures of the PA, the first obstacle to overcome is not the inadequacy of the IT training of the operators but the inefficient use of the potential deriving from the availability of IT data. The problem is, therefore, procedural of the PA services and not attributable to the contents or tools. Concerning the progress of research, the necessary and specific interdisciplinarity with ICT disciplines requires clarity of objectives, terminological, linguistic and communication sharing of contents, and object definition of the elements for a correct IT rendering. The importance of the study of national and international good practices (Fig. 16-22), as well as of the 'software' and platforms already available, is again expressed to adapt national experiments to proceed towards a more organic, direct and accessible structure of the complexities of the ongoing research. Furthermore, correct communication of virtual content and not with linguistic and terminological revision actions cannot be ignored. A more significant push towards technological innovation and towards systems that autonomously learn urban processes and dynamics (machine learning) would lead to an exponential improvement in the 'performance' of urban strategies and immediate response to critical issues in the area, starting from direct and indirect (active and passive) by the user of the built environment. The risk for architecture, however, is that the objectivity required by ICT systems brings the project closer to compliant solutions, forgetting the uniqueness of each architecture and the requirements of each individual.

Acknowledgements

The contribution results from a joint reflection and is equally attributable to both authors. We are grateful to Prof. S. Fabris of the Udine Nursing Course for the concession of the 'seniority kit' images. Thanks to James Acott-Davies for proofreading this text.

Notes

1) Innovability® is a registered trademark of Enel SpA. All rights reserved by Enel SpA.

2) The DALT Laboratory, an acronym for Design for all – Accessibility, is a structure of the Polytechnic Department of Engineering and Architecture (DPIA) of the University of Udine (Italy) in the field of environmental accessibility and inclusive design for physical and multisensory use of goods, spaces and services (Scientific Responsible C. Conti; Working Group 2021/22: G. Tubaro, E. Frattolin, M. Milocco Borlini, A. Pecile, L. Roveredo, S. Cioci and T. Sambrotta). Established in 2009 with a loan from Banca Popolare di Cividale through the Coordination Committee of the Province of Udine of the Regional Council of Associations for the Disabled and their Families (CRAD FVG), it works in synergy with the Regional Information Center on Architectural Barriers and Accessibility (CRIBA FVG) single regional center under LR 10/2018 FVG and technical service of CRAD FVG. This synergy is regulated by an institutional agreement between the University of Udine-DPIA and CRAD FVG.

3) In Italy there is a consolidated network of scholars who promote the culture of accessibility as a contribution to ethical, social and economic development and projects for the enhancement of spaces, goods and services with an inclusive approach based on paradigms expressed in the last thirty years through international research and experiences. A spontaneous and flexible network of comparison to outline strategies and plan shared actions with the awareness that intervening in the transformation processes of the habitat to raise the level of accessibility means operating at different scales with interdisciplinary approaches depending on the context (Conti and Villani, 2013).

4) For more information on the Environmental Accessibility Cluster of SITdA (Italian Scientific Society of Architectural Technology), see the webpage: sitda.net/cluster/accessibilita-ambientale.html [Accessed 17 September 2022].

5) The United Nations Convention on the Rights of Persons with Disabilities (UN, 2006) entered into force on May 3, 2008, ratified and made executive in Italy with Law no. 18 of March 3, 2009.

6) For further information on national case studies in urban contexts, see the webpages: atlantecittaccessibili.inu.it; atlantecittaccessibili.inu.it/le-linee-guida/ [Accessed 10 October 2022].

7) See the links to the platforms: accessmap.io/?region=wa.Seattle&lon=-122.338&lat=47.607&z=14.5;openseidewalks.com (Taskar Center for Accessible Technology, Washington University) [Accessed 10 October 2022].

8) The PEBA is a mandatory tool for building structures open to the public introduced with Law no. 41 of 1986; it is a planning tool that identifies critical issues, plans interventions with cost estimates and directs programming by indicating priorities. The Friuli Venezia Giulia Region, with Law 10/2018 General principles and implementing provisions on accessibility, intervenes by encouraging this planning with the development of various tools, including a general accessibility mapping system and operational guidelines for the owners or managers.

9) Art. 6 of the Regional Law of Friuli Venezia Giulia n. 10/2018 assigns to the Region (Direzione centrale infrastrutture e territorio, Servizio politiche per la rigenerazione urbana, la qualità dell'abitare e le infrastrutture per l'istruzione) the task of starting a general accessibility mapping project with the CRIBA FVG single reference centre and in collaboration with the university and research system of the Region (specifically the two Universities of Trieste – P.I. I. Garofolo – and of Udine – P.I. C. Conti) concerning, as a

matter of priority, public buildings and urban and extra-urban routes; the general mapping project represents a long-term macro-objective that accompanies the process of improving accessibility throughout the Region; to implement it, the Region adopts an orientation towards an incremental development project model to be carried out in successive phases and aimed at obtaining more and more complete and shared information on the accessibility of open space and the built environment on the territory providing the Administrations with guidelines and adequate IT tools; hence the involvement of INSIEL, a subsidiary company of the Region for ICT solutions for the government and management of the Public Administration, health and local public services.

10) For further information see the webpages: bosettiegatti.eu/info/norme/statali/1992_0285.htm; bosettiegatti.eu/info/norme/statali/1989_0236.htm; gazzettaufficiale.it/eli/id/1996/09/27/096G0512/sg;who.int/classifications/international-classification-of-functioning-disability-and-health#:~:text=The%20International%20Classification%20of%20Functioning%2C%20Disability%20and%20Health%2C,is%20a%20classification%20of%20health%20and%20health-related%20domains. [Accessed 10 October 2022].

References

ADB – Asian Development Bank (2017), *Enabling Inclusive Cities – Tool kit for inclusive urban development*. [Online] Available at: adb.org/sites/default/files/institutional-document/223096/enabling-inclusive-cities.pdf [Accessed 10 October 2022].

Afacan, Y. and Afacan, S. O. (2011), “Rethinking social inclusivity – Design strategies for cities”, in *Urban Design and Planning – Proceedings of the Institution of Civil Engineering*, vol. 164, issue 2, pp. 93-105. [Online] Available at: doi.org/10.1680/udap.2011.164.2.93 [Accessed 10 October 2022].

Baratta, A. F. L., Conti, C. and Tatano, V. (2019), *Abitare inclusivo – Il progetto per una vita autonoma e indipendente | Inclusive Living – Design for an autonomous and independent living*, Anteferma, Conegliano.

Baratta, A. F. L., Finucci, F. and Magarò, A. (2021), “Processo progettuale generativo – Valutazione multicriteriale e approccio multidisciplinare | Generative design process – Multi-criteria evaluation and multidisciplinary approach”, in *Techne | Journal of Technology for Architecture and Environment*, vol. 21, pp. 304-314. [Online] Available at: doi.org/10.13128/techne-9822 [Accessed 17 September 2022].

Church, R. L. and Marston, J. R. (2003), “Measuring accessibility for people with a disability”, in *Geographical Analysis*, vol. 35, issue 1, pp. 83-96. [Online] Available at: muse.jhu.edu/article/37050/pdf [Accessed 17 September 2022].

Conti, C. (2018), “Occasioni di sperimentazione – Il possibile contributo della Tecnologia dell' Architettura allo sviluppo etico e sociale del territorio friulano”, in Bellini, O. E., Ciaramella, A., Daglio, L. and Gambaro, M. (eds), *La progettazione tecnologica e gli scenari della ricerca*, Maggioli, Santarcangelo di Romagna (RN), pp. 87-96.

Conti, C. and Tatano, V. (2018), “Accessibilità, tra tecnologia e dimensione sociale”, in Lucarelli, M. T., Mussinelli, E. and Daglio, L. (eds), *Progettare Resiliente*, Maggioli, Santarcangelo di Romagna (RN), pp. 41-48.

Conti, C. and Villani, T. (2013), “Cluster Accessibilità ambientale”, in *Techne | Journal of Technology for Architecture and Environment*, vol. 6, pp. 178-179. [Online] Available at: oaj.fupress.net/index.php/techne/article/view/4337/4337 [Accessed 17 September 2022].

Germanà, M. L. and Prescia, R. (2021), *L'Accessibilità nel Patrimonio Architettonico – Approcci ed esperienze tra tecnologia e restauro | Accessibility in Architectural Heritage – Approaches and experiences between technology and restoration*, Antefema, Conegliano (TV).

Lauria, A. (2017), “Progettazione ambientale & accessibilità – Note sul rapporto persona ambiente e sulle strategie di design | Environmental design & accessibility – Notes on

the person-environment relationship and on design strategies”, in *Techne | Journal of Technology for Architecture and Environment*, vol. 13, pp. 55-62. [Online] Available at: doi.org/10.13128/techne-21134 [Accessed 17 September 2022].

Lid, I. M. and Solvang, P. K. (2016), “(Dis)ability and the experience of accessibility in the urban environment | (In)capacité et expérience de l'accessibilité dans un environnement urbain”, in *Alter*, vol. 10, issue 2, pp. 181-194. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.alter.2015.11.003 [Accessed 10 October 2022].

Milocco Borlini, M. and Tubaro, G. (2019), “Building Site City – Inclusive City – Monitoring of perception degrees and usability in settlements and in the urban landscape”, in *Contesti – Città, Territori, Progetti*, vol. 1, pp. 96-115. [Online] Available at: doi.org/10.13128/contesti-11927 [Accessed 17 September 2022].

Milocco Borlini, M. and Tubaro, G. (2022), “Toward an Inclusive City-System and User's-Oriented Interventions – Udine (IT), A Case Study”, in Alberti, F., Amer, M., Mahgoub, Y., Gallo, P., Galderisi, A. and Strauss, E. (eds), *Urban and Transit Planning*, Springer, Cham, pp. 41-53. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-030-97046-8_4 [Accessed 17 September 2022].

Norman, D. A. (2004), *Emotional design*, Apogeo.

Repubblica Italiana (2021), *Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza*. [Online] Available at: governo.it/sites/governo.it/files/PNRR.pdf [Accessed 17 September 2022].

Salman, S. (2018), “What would a truly disabled-accessible city look like?”, in *The Guardian*, 14/02/2018. [Online] Available at: theguardian.com/cities/2018/feb/14/what-disability-accessible-city-look-like [Accessed 10 October 2022].

Sinopoli, N. and Tatano, V. (2002), *Sulle tracce dell'innovazione – Tra tecnica e architettura*, FrancoAngeli, Milano.

UK Government (2010), *Equality Act*. [Online] Available at: legislation.gov.uk/ukpga/2010/15/data.pdf [Accessed 17 September 2022].

UN – United Nations (2015), *Transforming our world – The 2030 Agenda for Sustainable Development*, A/RES/70/1. [Online] Available at: un.org/en/development/desa/population/migration/generalassembly/docs/globalcompact/A_RES_70_1_E.pdf [Accessed 17 September 2022].

UN – United Nations (2006), *Convention on the Rights of Persons with Disabilities – Resolution adopted by the General Assembly on 13 December 2006*, A/RES/61/106. [Online] Available at: treaties.un.org/doc/source/docs/A_RES_61_106-E.pdf [Accessed 17 September 2022].

Velho, R. (2019), “Transport accessibility for wheelchair users – A qualitative analysis of inclusion and health”, in *International Journal of Transportation Science and Technology*, vol. 8, issue 2, pp. 103-115. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.ijst.2018.04.005 [Accessed 10 October 2022].

INTERATTIVITÀ SPAZIALI

Sensorialità e progetto del dato digitale nello spazio

SPATIAL INTERACTIVITY

Sensoriality and design of digital data in the space

Giorgio Dall'Osso, Martina D'Alessandro, Valeria Melappioni

ABSTRACT

Il contributo indaga la tesi secondo cui la relazione tra spazio urbano, dato digitale e utente sia di natura biunivoca e abbia un ruolo strategico nella definizione di una nuova traiettoria di sviluppo del modo di abitare e trasformare la città da parte degli utenti. Ora che il digitale è invisibilmente integrato nelle attività che quotidianamente svolgiamo, le reti si estendono allo spazio reale, dimostrando come la tecnologia non elimini il bisogno umano di presenza fisica. L'architettura deve confrontarsi con una realtà non tettonica, domandandosi non come utilizzare il digitale per gestire apparati di dati attraverso cui generare forme architettoniche dinamiche ma come rendere l'informazione motore per spazi capaci di rispondere dinamicamente alle esigenze degli occupanti che lo abitano.

This paper explores the thesis according to which the relationship between urban space, digital data and the user is biunivocal in nature and plays a strategic role in defining a new trajectory of development of the way users inhabit and transform the city. As digital is now invisibly integrated into the activities we perform daily, networks are extending into the real space, demonstrating how technology does not eliminate the human need for physical presence. Architecture must grapple with a non-tectonic reality, and ask itself not how to use the digital to manage data apparatuses to generate dynamic architectural forms, but rather how to turn information into an engine for spaces that can dynamically respond to the needs of the inhabitants.

KEYWORDS

spazio interattivo, dati, percezione, interazione uomo-macchina, spazio vuoto

interactive space, data, perception, human-machine interaction, 'empty' space

Giorgio Dall'Osso, Designer and PhD, is a Researcher in Design at the Department of Economics, Science and Law, University of San Marino. He carries out research in the field of product design and interaction, with a particular focus on the dialogue between the human body and space. Mob. +39 338/81.08.297 | E-mail: giorgio.dalosso@unirms.sm

Martina D'Alessandro, Architect and PhD, is an Adjunct Professor in Architectural Composition at the Department of Architecture, University of Bologna (Italy). In 2014, she founded her atelier Martina D'Alessandro Architettura. She carries out research and project activities on the theme of the form of living in relation to the shape of the city and the landscape. Mob. +39 340/36.02.309 | E-mail: martina.dalessandro2@unibo.it

Valeria Melappioni, Architect and PhD, authored a Doctoral Thesis entitled 'Sense activating private and social spaces: perspectives and potential of the interaction-based space project' at the SAAD of the University of Camerino (Italy). Her research focuses particularly on the relationship between spatial layout and user behaviour within the field of Human Building Interaction. Mob. +39 347/265.44.63 | E-mail: valeria.melappioni@unicam.it



La città è la 'cosa' umana per eccellenza, costruita dall'uomo per l'uomo, costituita da una osatura materica, fisicamente presente nello spazio e che ne modella la forma, e dallo spazio libero in cui le 'cose', custodite negli edifici o all'ombra di essi, possono accadere. La città può essere letta come una sintesi di pieni e vuoti posti in sequenza e in continua trasformazione. Il vuoto non esisterebbe senza il pieno e viceversa: anzi è proprio grazie al vuoto che è possibile avere percezione ed esperienza del pieno. Il nostro modo di percepire il mondo passa inevitabilmente tramite il suo attraversamento, quindi attraverso lo spazio vuoto (Chatwin, 1988). Il vuoto è lo spazio del possibile, che consente la presenza delle cose, il movimento delle persone e l'espressione dei comportamenti degli individui (Careri, 2006). Secondo Espuelas (2004), lo spazio vuoto è lo spazio della penetrabilità in cui la vita si svolge e il tempo contingente si manifesta, è lo scenario che accoglie l'azione esaltandone il significato. Ungers (1998) al proposito dice che i corpi si dispongono nello spazio come nell'allestimento di un palcoscenico per le diverse attività umane, per i ruoli degli attori, per la vita che vi si svolge.

L'ipotesi di partenza del contributo attribuisce al 'vuoto' il ruolo di campo di sperimentazione, con una duplice accezione. Da un lato il vuoto ha un significato ontologico: ha a che fare con il modo di abitare lo spazio da parte dell'uomo, è il luogo di virtuale modificazione nel momento in cui svela un nuovo modo di vedere e percepire la realtà costruita (Poète, 1958); percorrendo le strade e le piazze delle nostre città ci rendiamo conto che non ci troviamo solo in uno spazio vuoto ma in un luogo, in virtù del rapporto reciproco tra vuoto e sistema di edifici che lo definisce (Rossi, 1966). Secondo le parole di Heidegger (1976), il vuoto 'contiene' in due sensi prendendo e tenendo, esiste cioè un rapporto di simbiosi semantica tra il contenuto e ciò che esso contiene. Dall'altro il vuoto è un contenitore di informazioni e dati invisibili: gli spazi urbani che le persone attraversano e vivono quotidianamente sono caratterizzati in modo sempre più consistente dai dati digitali che gli stessi producono e che rimangono a essi referenziati; questi dati formano con la città quella che potrebbe essere definita Agorà Overground (Zannoni, 2018) e concorrono a definire l'identità e la memoria stessa dei luoghi (Formia and Zannoni, 2018).

Se, come sostiene Don Norman (2013), l'uomo è capace di interazioni più efficaci con sistemi che, appartenendo al mondo reale, risultano ad esso maggiormente prossimi, la relazione tra utente e intelligenze computazionali preannuncia prospettive opposte: da un lato un abitante fornitore di dati subordinato al sistema regolato dalla rete e dai suoi dispositivi, dall'altro ipotizzabili talenti complementari di uomini e agenti digitali nello spazio che occupa. Come per le forze della natura l'era digitale non può essere rifiutata o fermata, purtuttavia l'uomo non può sottrarsi al bisogno di fisicità e materialità connaturata alle trasformazioni del mondo naturale (Negroponte, 1995) in cui si è evoluto. Gli studi sulle Natural User Interface dimostrano l'efficacia dell'esperienza corporea umana come strumento per le progettualità legate alle interfacce uomo-macchina a elevata comprensibilità (Shi, 2018). Le ricerche legate alla prossimità tra persone (Hall, 1966) sono l'esempio di co-

me la lettura dei corpi in relazione possa essere utilizzata per la costruzione di interfacce ambientali efficaci (Vogel and Balakrishnan, 2004).

Se è vero che l'umanità non potrà mai abitare un'informazione e che i bits anche nel futuro non sostituiranno gli atomi (De Fusco, 1967), è pur vero che Internet e i suoi dati hanno assunto sempre più una collocazione spaziale, ricercando una fusione tra tangibile e immateriale. Secondo Floridi (2017, p. 111), «[...] siamo testimoni di una migrazione epocale dell'umanità dallo spazio fisico newtoniano al nuovo ambiente della 'infosfera'. La presenza della dimensione tecnologica sta trasformando i nostri spazi in maniera sempre più tangibile non attraverso qualche trasformazione biotecnologica nel nostro corpo, ma, più seriamente e realisticamente, attraverso la radicale trasformazione del nostro ambiente e degli agenti che vi operano».

L'obiettivo del contributo è indagare le metodologie alla base della progettazione di una nuova visione di spazio, digitalmente caratterizzato, in cui uomo-spazio-dato possano trovare un dinamico e inedito equilibrio. Poiché la presenza diffusa dell'informazione nei contesti fisici che ci circondano genera modalità di cognizione e di interpretazione fino a pochi anni fa sconosciute, risulta utile comprendere quale ruolo può attivare la consapevolezza che ogni uomo ha delle possibilità legate alla dinamica del proprio corpo, sapendo che le qualità spaziali percepite entrano in un collegamento indissolubile tra esperienza corporea e processi di pensiero e linguaggio (Campisi, 2018). La traduzione sensoriale dei dati, non solo come elemento trasformativo dei comportamenti percettivo/motori dei gruppi e delle singole persone ma anche dello spazio, diventa un'istanza fondamentale della ricerca. La cognizione spaziale riguarda l'acquisizione, l'organizzazione e l'utilizzo della conoscenza degli ambienti e coinvolge l'insieme dei processi mentali alla base dei comportamenti e del pensiero spaziali.

A tal riguardo l'elaborazione di proprietà quali ad esempio luogo/posizione, dimensione/forma, direzione/ordine, estensione/continuità, relazioni/configurazioni, connettività/sequenza e gerarchia/dimensionalità – sostengono Postma e Konderin (2017) – diventa componente dirimente per poter supportare informazioni o comportamenti etichettabili come spaziali; alcuni parametri spaziali influenzano l'elaborazione di una conseguenza comportamentale da parte degli occupanti. Maurice Merleau-Ponty (2005) descrive la percezione come un processo di ri-creazione e ri-costituzione del mondo nel quale il corpo umano si trova immerso in ogni momento e l'uomo entra in comunione profonda con lo spazio: il sensibile si propone all'uomo come significato motorio, come modo di essere al mondo e quindi come proposta che il corpo, se capace, riprende e assume.

La consapevolezza del fatto che, in quanto esseri umani, siamo soggetti a sviluppare stati di adattamento continuo in ragione delle condizioni spaziali in cui ci troviamo, posiziona l'essere umano al centro delle riflessioni, con le sue esperienze emotive, esposizioni multisensoriali e corporeità (Canepa, 2019), ancor più se abitante di spazi digitalmente addizionati capaci di raccogliere, restituire e scambiare dinamicamente serie di dati. Comprendere i modi in cui i dati digitali possano

trovare rappresentazione percettiva nello spazio è un fronte di ricerca transdisciplinare a cui le molteplici discipline del progetto sono chiamate a fornire delle risposte.

Lo spazio addizionato e i dati georeferenziati come elemento di progetto | Le espressioni progettuali che approfondiscono la relazione tra dato digitale, spazio e comportamento utente mostrano una limitata varietà di metodologie e casi studio. Lo stato dell'arte, di cui la Tabella 1 restituisce alcuni casi studio, riporta un'ampia proposta di sperimentazioni e progetti focalizzati prevalentemente sul concetto di 'spazio addizionato', inteso come spazio fisico esistente a cui si sovrappone una nuova dimensione virtuale attraverso il dato. Questo processo di 'stratificazione' di molteplici modi di abitare lo spazio non è recente ma appartiene alla storia dell'uomo e, quindi, della città. Da sempre la struttura ossea e fisica dell'architettura rappresenta un dato fisso, permanente e immutabile capace di accogliere attività, usi, esperienze e dati mutabili, generando una spazialità stratificata.

La traduzione sensoriale dei dati referenziati in tempo reale a uno spazio è una pratica progettuale non ancora consolidata ma ugualmente diffusa nell'ambito del progetto. I dati formano un substrato dello spazio reale (Zannoni, 2018) e sono elemento di progetto dello e nello spazio. Appartengono a questo insieme molteplici tipologie di dati (parametri ambientali, testi digitali scritti dagli utenti, dati riguardanti i comportamenti motori o espressivi umani, ecc.) mentre quelli che descrivono le qualità fisico/chimiche dello spazio sono innumerevoli (temperatura, umidità, particolato, ecc.) e sono raccolti attraverso sistemi territoriali gestiti da Enti pubblici (ad esempio da centraline che monitorano la qualità dell'aria) o attraverso iniziative di 'rilevamento' in cui ogni cittadino diventa fornitore di dati localizzati (De Greve et alii, 2022).

La traduzione di questi grandi agglomerati di dati converge principalmente su sistemi di 'visualizzazione di dati' attraverso display digitali. Raramente gli stessi dati diventano elemento di progetto su cui basare il comportamento del sistema degli oggetti capace di attivare lo spazio fisico e condiviso delle comunità; esempi di questa progettualità si trovano inseriti sia in contesti indoor che outdoor come i progetti U-DATInos¹ e Smog Shades². Il primo progetto, a firma di Persico e laconesi, traduce i dati dell'inquinamento del fiume Oreto (Palermo) in una scultura animata che, modulando suoni e luci, esprime in tempo reale la qualità dell'acqua rilevata da una rete di sensori interconnessi (Fig. 1); similmente nell'installazione Smog Shades, Huachen Xin propone un riferimento urbano che, attraverso la modifica della propria trasparenza, esprime il dato generale di qualità dell'aria della città (Figg. 2, 3).

Una seconda tipologia di dati è quella relativa ai testi dei post sui social network. Attraverso una 'continuous semantics and real-time data extraction' (Nagarajan, Sheth and Velmurugan, 2011) i testi sono destrutturati in categorie semantiche specifiche e successivamente tradotti in qualità sensoriali. Esempi sono i progetti Datagrove³ e Whithervanes⁴. Nel primo progetto i dati rielaborati e trasformati in categorie diventano caratterizzazioni sensoriali di un elemento di arredo urbano posto al centro di una piccola piazza (Figg.

Name	Author	Year	Environmental Data	Text-Processed Data	Data Motion or Emotional Behaviors	Data Spatial Analysis	Sensory Data Translation	Figure
U-DATInos	Iaconesi & Persico	2020	Real-time Water Quality	-	-	no	Sounds, Light, Moving Elements	1
Smog Shades	Huachen Xin	2020	Real-time Air Quality	-	-	no	Change Surface Transparency	2, 3
Datagrove	Futureform	2012	-	Real-time Post Social Network	-	no	Sounds, Light, Display	4, 5
Whithervanes	Rooftwo	2016	-	Real-time Texts Blog Information	-	no	Sounds, Light	6, 7
Bubbles	FoxLin et alii	2015	-	-	Real-time Interaction between body and devices	no	Object Volume Transformation	8, 9
Le Maison sensible	Scenocosme et alii	2015	-	-	Real-time Body movements	no	Change Interactive Experience	10
Ideascape, Porth Teigr	Calvium	2017	-	Real-time Interactions with apps	-	Multimedia Archive	Interactive Objects	11
London Smart Wayfinding	Maynard	2020	-	-	Real-time User's GPS	Human Spatial Movement	Direction Signals	-
Nature Trail	Jason Bruges	2012	-	-	Real-time Interactions with wall	Light Intensity	Interactive Animated Patterns of Light	12, 13

Tab. 1 | Case studies analysis (credit: the Authors, 2022).

4, 5). Nel secondo progetto un galletto segnamento è collocato in posizione di visibilità rispetto alle strade delle città (Miami e Folkestone) e assume un comportamento specifico in base alla tipologia di notizie che, in tempo reale, sono riferite al luogo (Figg. 6, 7): quando la tipologia di informazione racconta categorie di paura e conflitto, il galletto segnamento si tinge di rosso e comincia a girare mentre quando accresce la densità di notizie positive il galletto rimane fermo e assume colorazioni più fredde.

Un'ulteriore categoria di dati georeferenziati è quella relativa al comportamento degli utenti nello spazio, siano essi legati alle dinamiche spaziali dei gruppi (flussi, punti di aggregazione, punti di riposo, ecc.) che delle singole persone. Esempio è il progetto Bubbles⁵ che sfrutta sensori per rilevare il numero di interazioni con se stessa in tempo reale (Figg. 8, 9) generando una trasformazione dello spazio attraverso grandi pneumi gonfiabili che aumentano e diminuiscono di volume in modo proporzionalmente inverso al numero di interazioni: il risultato è una piazza che offre una diversa misura di spazio in relazione al numero di persone presenti.

Tecnologie più capillari rispetto alla sfera personale sono quelle che permettono l'estrazione di dati legati all'emozione delle persone presenti nello spazio. L'affective computing, ad esempio,

grazie alle intelligenze artificiali riesce a riconoscere le emozioni primarie umane: le tecniche utilizzate, basate su algoritmi di machine learning e intelligenza artificiale (Karyotis et alii, 2017), utilizzano i dati delle immagini delle videocamere per il tracciamento facciale o l'analisi della postura del corpo. Esempio è il progetto Le Maison Sensible⁶ in cui i progettisti hanno definito una serie di proiezioni e suoni che, presenti in pareti, pavimento e mobili, reagiscono empaticamente alla tipologia di comportamento che i corpi generano nello spazio (Fig. 10): quando vengono rilevati movimenti bruschi i sistemi interattivi rispondono limitando i livelli di interazione, diversamente quando il comportamento degli utenti è composto e lento la stanza si attiva con output sonori e visivi armoniosi.

Gli esempi citati mostrano come le attuali tecnologie digitali abbiano una buona capacità di adattarsi alle casistiche che gli ambienti umani propongono. Tuttavia questa potenzialità non si traduce sempre in spazi capaci di rispondere alle esigenze delle persone che li vivono; si rileva piuttosto una tendenza dei progetti a rendere manifesti dati georeferenziati ma a non valorizzare le caratteristiche spaziali del luogo di inserimento con la conseguente mancata integrazione tra utenti, dati e spazio. La pervasività e la velocità di sviluppo delle tecnologie abilitanti ed emergenti

agenti negli spazi non deve esimersi il progettista dal confrontarsi con le esigenze degli abitanti in un approccio sistemico al progetto, non delegando ma coordinando tavoli di progetti multi-disciplinari orientati a scelte che tengano al centro l'utente e garanti di tutte le funzionalità necessarie per la costruzione di relazioni ecologiche e naturali tra uomo e ambiente (Brischetto, 2016).

Richiamando Ratti e Claudel (2017, pp. 16, 50), «[...] la tecnologia è tornata sui suoi passi, nello spazio fisico, [che non può più considerarsi assoluto e disgiunto dalla sua dimensione digitale, dalle reti virtuali che lo attraversano.] Lo spazio dei flussi ha a che vedere con la fusione tra reti virtuali e spazio materiale: configurazioni digitali e fisiche che si influenzano attivamente a vicenda. Ma in che modo?». Che effetti riserva tale fusione all'uomo che abita lo spazio, all'esperienza che fa di esso, alla relazione topologica e a quella prossemica in esso? La ricerca pone come interrogativo di fondo una questione essenziale sulle implicazioni che la tecnologia può comportare: può il digitale affiancare l'uomo attraverso un coinvolgimento percettivo e relazionale?

J. Seely Brown e Mark Weiser (1997) sottolineano che il catalizzatore di progettazione per gli spazi costruiti non dovrebbe essere il computer, piuttosto la dinamicità dell'esperienza umana dipendente da aspetti sociali interpersonali e stati

d'animo dei singoli, aspetti solamente in parte estraibili e generalizzabili attraverso le tecniche di elaborazione dati in uso. Ciò che ancora non si considera è che i bisogni delle persone spesso dipendono dallo stato d'animo e l'ambiente non dispone di indizi correlati a tal riguardo. Nel panorama della cultura del progetto emergono numerosi contributi teorici (Pallasmaa, 2014; Mallgrave, 2018; Gallese and Gattara, 2021) e sperimentali (Lehman, 2016; Ruzzon, 2021) che arrivano a prefigurare la necessità di progettare spazi capaci di assecondare le necessità continuamente diversificate dell'abitante, a partire dall'indagine sulla relazione complessa e diretta tra i caratteri spaziali e i processi percettivi del corpo (in quanto strumento di navigazione nel mondo che, attraverso i sensi e le capacità di movimento, permette di interagire con l'ambiente fisico).

Richard Neutra (1954) ha indicato una prospettiva secondo cui la conoscenza della materia e della funzione cerebrale non è meno importante per il progetto di quanto lo sia la conoscenza dei materiali. Ben poche informazioni di questo tipo costruiscono la cultura dell'architetto e del designer; se abbiamo iniziato a considerare l'ambiente come somma totale di tutti gli stimoli a cui è esposto un sistema nervoso, si chiarisce bene come gli sviluppi futuri della fisiologia cerebrale verranno in aiuto alla progettazione di un ambiente costruito, suffragandola con conoscenze specifiche.

Le interattività spaziali | La città contemporanea, sollecitata dai profondi cambiamenti culturali, tecnologici, economici, sociali e politici, sta ridefinendo la geografia dei propri confini, intesi come fisici e virtuali. Se l'architettura è l'arte il cui mezzo è lo spazio e se la nostra comprensione dello spazio sta mutando, non dovrebbe mutare anche l'architettura? La risposta di Marcos Novak è la 'transarchitettura', ovvero «[...] una trasformazione o una trasmutazione dell'architettura verso la rottura dell'opposizione di fisico e virtuale e la proposta di un continuum che conduca da un'architettura fisica a un'architettura tecnologicamente potenziata, a un'architettura del cyberspazio».⁷

Alla luce di queste ricerche si propone l'elaborazione del paradigma della 'interattività spaziale', o meglio della 'inter-spazialità' tra il mondo fisico e digitale dell'architettura: invece degli usi convenzionali della tecnologia digitale, come la creazione di mondi immaginari o astratti completamente immersivi, per il miglioramento funzionale della realtà che abitiamo emerge un nuovo tipo di spazialità che, grazie all'integrazione di variabili categorie di dati georiferenziati, instaura un dialogo continuo con l'abitante che lo occupa, influenzando sul processo di costruzione dello spazio fisico. Lavorare sui requisiti che permettano di rafforzare la relazione tra persone, tecnologie digitali e spazi è la prerogativa del paradigma della 'inter-spazialità', che tenta di offrire un punto di partenza per lo sviluppo di principi progettuali incentrati sul mutuo rapporto tra utente, dato e spazio (Perriccioli, 2021).

Grazie alle forme di tecnologia digitale incorporate nello spazio (che percepisce, registra, reagisce alle persone) e allo spazio stesso, l'inter-spazialità sposta l'enfasi della ricerca 'sull'esperienza' dell'abitante, piuttosto che sull'adozione di nuove tecnologie per creare ambienti più intelligenti. Come prospettiva quindi la nozione di 'interattività spaziale' vuole evidenziare la dimensio-

ne di reciprocità che gli ambienti costruiti possono acquisire e il modo in cui si relazionano alle persone che li occupano. I dati che si manifestano nello spazio attraverso traduzioni sensoriali acquisiscono dunque qualità che contribuiscono a definire l'identità dello spazio.

Attraverso le qualità assunte i dati entrano a far parte del campo percettivo, situandosi in comunione con la presenza umana nello spazio. Se la caratteristica sensoriale che lo spazio assume è trasformativa, la sua identità non sarà fissa ma mutabile. Il mutabile, la variazione, è la caratteristica su cui la maggioranza dei sensi agisce: se da un lato si assiste a un utilizzo dei dati come strumento di conoscenza della realtà attraverso l'analisi degli stessi, dall'altro è da comprendere come questi dati, presi singolarmente con periodicità o nel loro fluire, possano divenire parte dello spazio stesso. La trasduzione quali comportamenti può attivare? Con quale efficacia? Con quale consapevolezza?

Il dibattito scientifico e progettuale su temi simili alla ricerca proposta offre molteplici casi studio che esprimono la potenzialità di uno spazio integrato con i dati da esso e in esso generati. Categorie di progetto che esplicitamente fanno riferimento a questa metodologia sono il 'digital placemaking', il 'digital wayfinding' e il 'digital sensemaking'. Un caso studio rappresentativo del primo è il progetto Ideascape – Porth Teigr realizzato dallo studio Calvium⁸ nel 2017. L'area su cui i progettisti si sono concentrati era in fase di riqualificazione con un Piano di aumento significativo degli edifici abitativi, commerciali e di comunità. Il progetto, nato dall'esigenza di qualificare i luoghi della comunità con proposte di 'placemaking' che utilizzassero una preesistenza di informazioni dello spazio, utilizza dati legati all'uso dei luoghi pubblici affittabili, ma scarsamente richiesti, dati multimediali legati alla storia (Fig. 11) e agli oggetti archiviati del luogo e dati di promozione delle attività commerciali.

A questi si intrecciano le esigenze emerse dalla lettura del luogo, come la divisione orografica della comunità in due aree distinte o la mancanza di uno spazio di progettualità cittadina. Viene quindi sfruttata la lettura della realtà emersa dall'analisi dei dati del territorio e gli stessi vengono utilizzati come contenuto variabile di progettualità fisse. I dati rilevati sono utilizzati sia per leggere le caratteristiche del luogo sia come elemento di progetto dello spazio. Lo studio, infatti, propone periscopi in realtà aumentata capaci di sovrapporre passato e futuro alle immagini della realtà attraverso un'applicazione capace di gestire le prenotazioni degli spazi comuni del quartiere, una sorta di oggetto parlante che suggerisce le offerte commerciali delle attività attigue all'installazione.

Il team Maynard propone⁹ un progetto di 'digital wayfinding' per il distretto del Queen Elizabeth Olympic Park a Londra. In seguito al rilievo dell'Amministrazione di criticità legate alla navigazione e all'orientamento, i progettisti hanno proposto un sistema di wayfinding in cui le informazioni sono date in tempo reale ai singoli utenti sfruttando piccoli display e-ink inseriti su elementi di arredo urbano a basso consumo energetico. Il progetto di 'digital sensemaking' proposto da Bruges nasce dall'osservazione del corridoio che conduce alle sale operatorie nel Great Ormond Street Hospital di Londra¹⁰, un ospedale pedia-

trico. Da un'analisi pre-progettuale è emerso come il bagliore delle luci fosse particolarmente intenso, il rapporto tra larghezza e altezza del corridoio sbilanciato, la lunghezza da percorrere rilevante e le superfici verticali e orizzontali anonime. Il progetto ha previsto la realizzazione di un percorso capace di catturare l'attenzione, in cui i piccoli pazienti, mentre lo attraversano, possono interagire con 72 mila luci LED ed effetti sonori che, reagendo alla presenza, al movimento o al tocco delle mani, fanno nascere sagome di animali e vegetali (Figg. 12, 13), trasformando l'esperienza di attraversamento in un'avventura attraverso una natura magica.

Nei casi studio citati la mutua relazione tra utente, dato e spazio si compie dopo che il processo di progettazione ha messo in evidenza le criticità dei luoghi. Al fine di generare un'efficacia interattività tra intervento e spazio addizionato, l'analisi dello stato di fatto del luogo è compiuto tramite tecniche qualitative e quantitative capaci di sfruttare la preesistenza del luogo sia fisica che digitale (Fig. 14). In questo secondo gruppo di casi studio si intravede la possibilità di sviluppo di uno spazio da una dimensione tradizionalmente immutabile a una dinamica, aperta e malleabile capace di seguire i cambiamenti richiesti dai bisogni individuali nelle varie scale temporali e spaziali, suggerendo preliminarmente una condizione e successivamente modificandola in una relazione dialettica e dinamica (con l'abitante stesso) basata sull'abilitare la capacità umana e non sull'automatizzazione delle funzioni.

Riconoscere che la spazialità del mondo visto è una spazialità catturata non da misurazioni geometriche ma da risposte comportamentali implica riconoscere l'evidenza di risposte emotive e corporee che persistono ad ogni 'incontro' architettonico. Di conseguenza, un approccio alla progettazione e alla comprensione delle possibilità offerte da uno spazio costruito puramente gene-



Fig. 1 | U-DATInos, designed by Iaconesi and Persico, 2020 (credit: S. Iaconesi and O. Persico, courtesy of HER – She Loves Data).



Figg. 2, 3 | Smog Shades, designed by Huachen Xin, 2020 (credits: H. Xin; courtesy of Huachen Xin).

ralizzato e 'disincarnato' è chiaramente limitante, in quanto esclude la risposta all'esperienza (che è sempre interazione bidirezionale) e cioè come lo spazio viene percepito, differendo ampiamente dalle informazioni provenienti da progetti spaziali oggettivamente costruiti.

Conclusioni e sviluppi futuri | Affrontare l'insieme complesso delle criticità esposte costituisce l'ambizione di questo contributo, che punta a mettere in rilievo contraddizioni e incertezze quali possibili condizioni di una nuova progettualità. Secondo le istanze presentate, non si intende individuare soluzioni definitive e dimostrative, errore di metodo non proponibile considerando la complessità e vastità del tema affrontato. Si intende piuttosto offrire uno spaccato della realtà dinamicamente mutevole in cui viviamo, tracciando nuove direzioni di possibili ricerche progettuali future. La complessità del tema rende necessaria una struttura transdisciplinare della ricerca attraverso il contributo di diverse sensibilità del progetto, come la composizione architettonica e urbana, la tecnologia dell'architettura e il design del prodotto, capaci di interagire con campi di ricerca afferenti agli studi del comportamento dell'uomo.

La nuova chiave di lettura del rapporto uomo-spazio-dato attraverso il concetto di interattività spaziale (inter-spazialità) ha lo scopo di rimarcare le implicazioni del digitale applicato agli spazi. L'implementazione digitale si è consolidata in diverse applicazioni che vanno dalla sorveglianza all'intrattenimento, dalla riabilitazione medica alla progettazione di mostre museali e al commercio. Tuttavia rispetto alle nuove traiettorie delineate dal paradigma dell'interattività spaziale, l'integrazione simultanea di informazioni digitali e spazio costruito necessita di una struttura concettuale su cui ancorare le sperimentazioni future, rifuggendo da approcci progettuali che utilizzano la tecnologia come elemento 'decorativo' dello spazio. In quest'ottica il presente studio ha l'ambizione di stimolare un nuovo approccio progettuale che si avvalga di competenze transdisciplinari per mettere a sistema la fisicità dello spazio con layer digitali capaci di descrivere l'esperienza umana su temporalità differenti.

I casi studio citati fanno emergere cluster tematici e progettuali di interesse che possono essere utilizzati come guida per ulteriori sviluppi sul tema; tra questi la manifestazione nello spazio di tracce digitali appartenenti a categorie di utenti meno visibili o a temporalmente asincrone, la gui-

da degli utenti in percorsi urbani che grazie ai dati mutano in tempo reale, l'invito, il supporto o perfino l'attivazione di comportamenti multiutente all'interno degli spazi condivisi dalle comunità. Ampliando poi il raggio di azione è possibile prendere in esame tutti gli elementi che influiscono sulla forma dello spazio fisico outdoor e indoor per verificare le contaminazioni tra le permanenze formali dello spazio fisico architettonico e la definizione di spazialità 'altre', virtuali, meno codificate, più fluide e dinamiche.

A tal riguardo si rendono necessarie nuove e inedite azioni sperimentali e applicative – da affiancare all'apparato teorico – sulla relazione tra progetto degli spazi digitalmente addizionati e comportamento dell'utente, azioni attuabili solo attraverso un network di sensibilità e competenze disciplinari differenti. Considerare lo spazio come partecipante al pari dell'utente nella costruzione di un'esperienza percettiva implica l'implementazione di strumenti di comprensione, più intima e raffinata, della percezione da parte degli abitanti dello spazio, ancor prima di utilizzarlo. Se da una parte i sensi e le percezioni sono la base di come le persone vivono lo spazio e dall'altra le emozioni, la memoria e la materialità che collegano il comfort con la storia e la cultura personale sono fattori rilevanti quando un abitante incontra uno spazio da abitare (Robinson, 2014), occorre gettare lo sguardo verso orizzonti disciplinari finora lontani rispetto alla cultura del progetto poiché, oltre al 'come', è necessario individuare anche 'cosa' condizioni l'occupante nel suo abitare lo spazio.

L'uso del paradigma della interattività spaziale proposto nell'orizzonte contemporaneo del progetto presenta una vasta applicabilità a situazioni molteplici e dinamiche, siano esse urbane, paesaggistiche o architettoniche, pubbliche o private. La capillare diffusione di questo nuovo approccio metodologico al progetto implica, allo stesso tempo, il superamento di molteplici criticità e problematiche di natura generale e puntuale. Innanzitutto l'interattività spaziale richiede una implementazione, e una conseguente articolazione, delle fasi organizzative e di processo per costruire un flusso progettuale con risorse adeguate alle complesse e lunghe fasi di analisi quantitativa e percettiva dello spazio; poi la necessaria presenza di svariate professionalità e competenze, difficilmente strutturabili sin dalle fasi iniziali del processo di ideazione del di progetto; infine la disponibilità economica per l'implementazione tecnologica dello spazio, tanto nella fase realizzativa quanto nelle suc-

cessive fasi di gestione, per l'elaborazione dei dati e per la manutenzione delle attrezzature.

L'implementazione spaziale legata all'interattività è un campo di ricerca attuale, capace di attivare dialoghi efficaci tra comunità e decisori politici (Gaspari et alii, 2022). L'accesso agli strumenti finanziari previsti dalla comunità europea non è l'unica opportunità con cui il paradigma proposto può essere adottato, ma rappresenta sicuramente una delle risorse più rilevanti per il prossimo futuro. Sono molteplici infatti i finanziamenti strategici messi in campo per rispondere alla sfida di un futuro digitale, forniti da una rete di programmi europei integrati, come il Programma Europa Digitale, il Programma Horizon Europe per la Ricerca e l'Innovazione e i fondi per collegare l'Europa tramite le infrastrutture digitali, per la ripresa e la resilienza e quelli strutturali, per citarne alcuni.

Lo sviluppo delle fasi analitiche attraverso l'utilizzo di strumenti digitali si iscrive nella continua ridefinizione del processo progettuale che affianca il progettista con nuovi strumenti e professionalità legate all'analisi dei dati. Se a una prima lettura l'aumento dei costi potrebbe risultare una criticità limitativa allo sviluppo e all'applicazione di questo paradigma, l'auspicio è che una migliore comprensione della realtà esistente, urbana e fisica così come immateriale e virtuale, potrà portare a una precisa risposta alle esigenze della comunità che vive lo spazio.

The city is the ultimate human 'thing', built by people for people, composed of a material framework, physically present in the space and thus shaping its form, and of the free space in which 'things', housed in buildings or their shadows, can happen. The city can be read as a synthesis of full and empty placed in sequence and continuous transformation. Emptiness would not exist without fullness and vice versa: indeed, it is through emptiness that it is possible to have a perception and experience of fullness. Our way of perceiving the world is inevitably processed through its crossing, thus through the 'empty' space (Chatwin, 1988). Emptiness is the space of possibility, which allows for the presence of things, the movement of people and the expression of the behaviour of individuals (Careri, 2006). According to Espuelas (2004), empty space is the space of penetrability in which life takes place and contingent time manifests itself; it is the setting that embraces action by enhancing its meaning. Ungers (1998), in this regard, states that bodies are arranged in space as in the setting of a stage for different human activities, for the roles of actors, and for the life that unfolds there.

The original hypothesis for this contribution assigns to 'emptiness' the role of an experimental field, with dual meaning. On the one hand, emptiness has an ontological meaning: it has to do with human's way of inhabiting space, and is the site of virtual modification as it unveils a new way of seeing and perceiving constructed reality (Poëte, 1958); walking through the streets and squares of our cities, we realize that we are not only in an 'empty' space but in a place, under the reciprocal relationship between emptiness and the system of buildings that defines it (Rossi, 1966). In the words of Heidegger (1976), emptiness 'contains'

in two ways, by both taking and holding, thus creating a relationship of semantic symbiosis between the content and that which it contains. On the other hand, emptiness is a container of information and invisible data: the urban spaces that people pass through and experience daily are increasingly characterized by the digital data they produce and that remain referenced to them; these data form, together with the city, what could be defined as an Overground Agorà (Zannoni, 2018) and contribute to defining the identity and memory of places (Fornia and Zannoni, 2018).

If, as Don Norman (2013) argues, humans are capable of more effective interactions with systems that, belonging to the real world, are more proximate to it, the relationship between the user and computational intelligences foreshadows opposite perspectives: on the one hand, a data-providing inhabitant subject to the system regulated by the network and its devices, and on the other hand, conceivable complementary talents of humans and digital agents in the space they occupy. Similarly to the forces of nature, the digital age cannot be rejected or stopped, yet human cannot escape the need for physicality and materiality inherent in the transformations of the natural world (Negroponte, 1995) in which it evolved. Studies on Natural User Interfaces demonstrate the effectiveness of the human body experience as a tool for projects related to human-machine interfaces with high comprehensibility (Shi, 2018). Research related to proxemics between people (Hall, 1966) exemplifies how the interpretation of interrelated bodies can be used to construct effective environmental interfaces (Vogel and Balakrishnan, 2004).

If it is true that humanity shall never be able to inhabit information and that bits, even in the future, will not replace atoms (De Fusco, 1967), it is also true that the Internet and its data have increasingly acquired a spatial location, seeking a fusion between tangible and intangible. According to Floridi (2017), we are witnessing an epochal migration of humanity from Newtonian physical space to the new environment of the 'infosphere'. The presence of the technological dimension is transforming our spaces in increasingly tangible ways, not through some biotechnological transformation in our bodies, but, more seriously and realistically, through the radical transformation of our environment and the agents that operate in it.

This paper aims to investigate the methodologies behind designing a new vision of space, digitally characterized, in which human-space-data can find a dynamic and unprecedented balance. As the widespread presence of information in the physical contexts around us generates modes of cognition and interpretation that were unknown until a few years ago, it is useful to understand what role can activate each individual's awareness of the possibilities related to their body dynamics, knowing that perceived spatial qualities enter into an inextricable link between bodily experience and thought and language processes (Campisi, 2018). The sensory translation of data, as a transformative element not only of perceptual/motor behaviours of groups and individuals but also of space, becomes a fundamental research concern. Spatial cognition concerns the acquisition, organization and use of knowledge of environments and involves the set of mental processes underlying spatial behaviours and thinking.

In this regard, Postma and Koenderin (2017) argue that the processing of properties such as place/location, size/shape, direction/order, extension/continuity, relationships/configurations, connectivity/sequence, and hierarchy/dimensionality becomes a decisive component to support information or behaviours that can be labelled as spatial; certain spatial parameters influence the occupants' processing of a behavioural consequence. Maurice Merleau-Ponty (2005) describes perception as a process of re-creation and re-constitution of the world in which the human body is immersed in every moment and the human enters into deep communion with space: the sensitive is proposed to man as a motor meaning, as a way of existing and thus as a proposition that the body, if capable, takes up and assumes.

The awareness of the fact that, as human beings, we are subject to developing states of continuous adaptation due to the spatial conditions in which we find ourselves, positions the human being at the centre of reflections, with its emotional experiences, multisensory exposures and corporeality (Canepa, 2019), even more so when inhabiting digitally augmented spaces capable of dynamically collecting, returning and exchanging data sets. Understanding how digital data can find perceptual representation in space is a transdisciplinary research front to which multiple design disciplines are called upon to provide answers.

Added space and georeferenced data as a design element | Design expressions that explore the relationship between digital data, space and user behaviour display a limited variety of methodologies and case studies. The state of the art reports a wide range of experiments and projects focused mainly on the concept of 'added space', understood as existing physical space superimposed on a new virtual dimension through data; Table 1 shows some case studies. This process of 'stratification' of multiple ways of inhabiting space is not recent but belongs to the history of man and, therefore, of the city. Architecture's backbone and physical structure has always been a fixed, permanent and immutable fact, capable of accommodating activities, uses, experiences and mutable data, generating a stratified spatiality.

The sensory translation of referenced data in real-time to a space is a design practice which is not yet consolidated but equally widespread within the project. The data forms a substrate of the real space (Zannoni, 2018) and represents a design element of and in space. Many types of data belong to this set (environmental parameters, digital texts written by users, data concerning human motor or expressive behaviours, etc.), whereas those that describe the physical/chemical qualities of space are countless (temperature, humidity, particulate matter, etc.) and are collected through territorial systems managed by public bodies (for example by control units that monitor air quality) or through 'detection' initiatives in which every citizen becomes a supplier of localized data (De Greve et alii, 2022).

The translation of these big data agglomerations converges mainly on 'data visualisation' systems through digital displays. Rarely does the same data become a design element on which to base the behaviour of the object system capable

of activating the physical and shared space of communities; examples of such a design can be found embedded in both indoor and outdoor contexts such as the U-DATInos¹ and Smog Shades² projects. The first project, by Persico and Iaconesi, translates the pollution data of the Oreto river (Palermo) into an animated sculpture that, by modulating sounds and lights, conveys the water quality detected by a network of interconnected sensors in real-time (Fig. 1); similarly, in the installation Smog Shades, Huachen Xin proposes an urban reference that, by altering its transparency, expresses the general data relating to the air quality of the city (Fig. 2, 3).

The second type of data relates to the texts of social media posts. Through continuous semantics and real-time data extraction (Nagarajan, Sheth and Velmurugan, 2011) texts are deconstructed into specific semantic categories and subsequently translated into sensory qualities. The Datagrove³ and Whithervanes⁴ projects are examples of this. In the first project, the data is reworked and transformed into categories to become sensory characterization of an element of urban furniture placed in the centre of a small

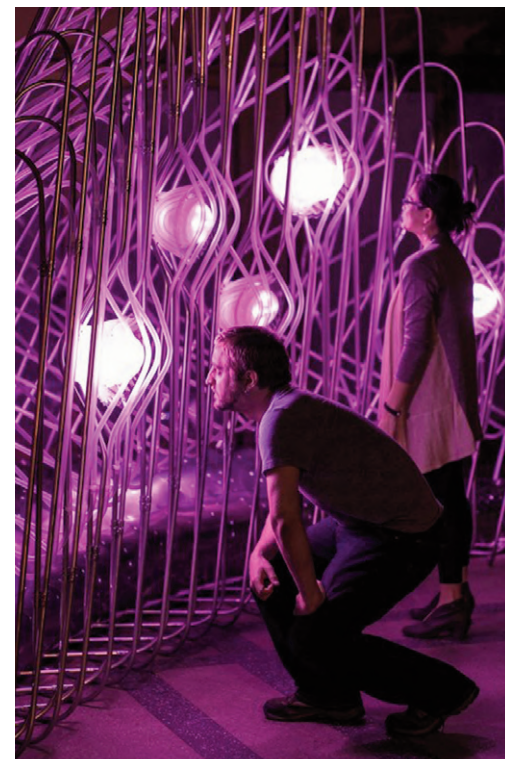


Fig. 4, 5 | Datagrove, designed by Futureforms, 2012 (credits: J. K. Johnson and N. Gattegno; courtesy of Futureforms).



Figg. 6, 7 | Whithervanes, designed by Rotooftwo, 2016 (credits: J. Marshall and C. Charles; courtesy of Rotooftwo).

Figg. 8, 9 | Bubbles, designed by FoxLin, NONDesigns and Brand Name Label, Axel Kilian, and Darius Miller, 2015 (credits: R. Kassabian; courtesy of FoxLin).

square (Figg. 4, 5). In the second project, a weathervane cockerel is placed in a visible position with respect to the city streets (Miami and Folkestone), assuming a specific behaviour based on the type of news that, in real-time, is referred to the location (Figg. 6, 7): when the type of information chronicles categories of fear and conflict, the weathervane cockerel turns red and begins to spin, while when there is an increase of positive news, the cockerel remains stationary and takes on cooler colouring.

A further category of georeferenced data is that relating to the behaviour of users in space, whether they are related to the spatial dynamics of groups (flows, aggregation points, rest points, etc.) or of individual people. An example is the Bubbles project⁵ which employs sensors to detect the number of interactions with itself in real-time (Figg. 8, 9) generating a transformation of the space through large inflatable structures that increase and decrease in volume in a proportionally inverse way to the number of interactions: the result is a square that offers a different measure of the space in relation to the number of people present.

Technologies that are more pervasive in comparison to the personal sphere are those that al-

low the extraction of data related to the emotions of people in the space. Affective computing, for example, is able to recognize primary human emotions through artificial intelligence: the techniques used, based on machine learning and artificial intelligence algorithms (Karyotis et alii, 2017), use camera image data for facial tracking or body posture analysis. An example is the Le Maison Sensible project⁶, in which the designers have defined a series of projections and sounds that, embedded in walls, floors and furniture, react empathetically to the type of behaviour that bodies generate in the space (Fig. 10): the interactive systems respond by limiting the levels of interaction when sudden movements are detected, whereas the room is activated with harmonious sound and visual outputs when the user behaviour is composed and slow.

The aforementioned examples show how current digital technologies are generally able to adapt to the contingencies proposed by human environments. However, this potential does not always translate into spaces capable of responding to the needs of the people who live there; rather, there is a tendency for projects to manifest georeferenced data but not to enhance the spatial

characteristics of the place of inclusion, resulting in a lack of integration between users, data and space. The pervasiveness and speed of development of enabling and emerging technologies acting in spaces must not exempt the designer from addressing the needs of the inhabitants in a systemic approach to design, not delegating but coordinating multi-disciplinary project tables oriented towards choices that maintain the user at the centre and guarantee all the necessary functionalities for the construction of ecological and natural relationships between humans and the environment (Brischetto, 2016).

To cite Ratti and Claudel (2017), technology has retraced its steps in the physical space, which can no longer be considered absolute and disconnected from its digital dimension, from the virtual networks that flow through it. The space of flows is concerned with the merging of virtual networks and material space: digital and physical configurations that actively influence each other. But in what way? What effects does such a merger reserve for humans inhabiting the space, their experience of it, and the topological and proxemic relationship in it? The research raises an essential question about the implications of technology:

can the digital stand alongside humans through perceptual and relational involvement?

J. Seely Brown and Mark Weiser (1997) emphasize that the design catalyst for built spaces should not be the computer, but rather the dynamism of human experience dependent on interpersonal social aspects and moods of individuals, aspects only partly extractable and generalizable through current data processing techniques. What is not yet considered is that people's needs often depend on their state of mind, and the environment has no correlated indicators in this regard. Several theoretical (Pallasmaa, 2014; Mallgrave, 2018; Gallese and Gattara, 2021) and experimental (Lehman, 2016; Ruzzon, 2021) contributions emerge in the design culture landscape and foreshadow the need to design spaces capable of accommodating the continuously diversifying demands of the inhabitant, starting with the investigation of the complex and direct relationship between spatial features and the perceptual processes of the body (as a means of navigating a world that, through the senses and movement capabilities, enables interaction with the physical environment).

Richard Neutra (1954) suggested a perspective according to which knowledge of subject matter and brain function is no less important for the project than knowledge of materials. Very little information of this kind builds the culture of the architect and the designer; if we have begun to consider the environment as the total sum of all the stimuli to which a nervous system is exposed, it becomes very clear how future developments in brain physiology will aid in the design of a built environment, supporting it with specific knowledge.

Spatial interactivity | The contemporary city, prompted by profound cultural, technological, economic, social and political changes, is redefining the geography of its borders, intended as both physical and virtual. If architecture is the art whose medium is space, and if our understanding of space is changing, shouldn't architecture also change? Marcos Novak's answer is 'transarchitecture', that is «[...] a transformation or transmutation of architecture intended to break down physical and virtual opposition, proposing a continuum ranging from physical architecture to architecture energized by technological augmentation to the architecture of cyberspace».⁷

In view of these studies, the elaboration of the paradigm of 'spatial interactivity', or rather 'inter-spatiality' between the physical and digital worlds of architecture is proposed: instead of the conventional uses of digital technology, such as the creation of fully immersive imaginary or abstract worlds for the functional improvement of the reality we inhabit, a new kind of spatiality emerges, establishing a continuous dialogue with the inhabitant who occupies it, influencing the process of construction of the physical space, thanks to the integration of variable categories of georeferenced data. The prerogative of the 'inter-spatiality' paradigm is to work on the requirements to strengthen the relationship between people, digital technologies and spaces, in an attempt to offer a starting point for the development of design principles centred on the mutual relationship between user, data and space (Perriccioli, 2021).

As a result of the forms of digital technology

embedded in the space (which senses, records, and reacts to people) and the space itself, inter-spatiality shifts the emphasis of research 'on the experience' of the inhabitant, rather than on the adoption of new technologies to create smarter environments. In perspective then, the notion of 'spatial interactivity' is meant to highlight the dimension of reciprocity that built environments can acquire and how they relate to the people who occupy them. The data that manifest in the space through sensory translations thus acquire qualities that contribute to defining the identity of space.

Therefore, through the acquired qualities the data become part of the perceptual field, in communion with the human presence in the space. If the sensory characteristic that the space assumes is transformative, its identity will not be fixed but mutable. The changeable, the variation, is thus the feature on which the majority of the senses act: while, on the one hand, data is used as a tool for knowledge of reality through the analysis of the same, on the other hand, it must be understood how the data, taken individually with a periodicity or as a data flow, can become part of the space itself. What behaviours can transduction activate? With what effectiveness? With what awareness?

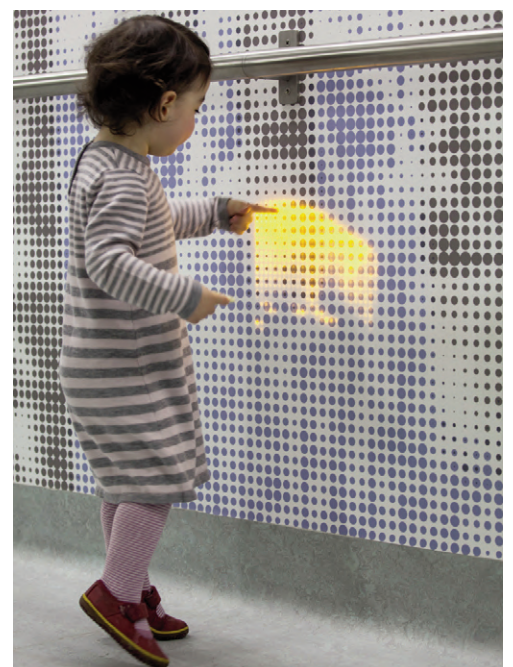
The scientific and design debate on topics similar to the proposed research offers multiple case studies that express the potential of a space integrated with the data generated by it and in it. Project categories that explicitly refer to this methodology are 'digital placemaking', 'digital wayfinding' and 'digital sensemaking'. A representative case study of the first is the Ideascape – Porth Teigr project carried out by the Calvium studio⁸ in 2017. The area on which the designers focused was being redeveloped with a plan to significantly increase housing, commercial and community buildings. The project, arising out of the need to qualify community places with 'placemaking' proposals using a pre-existence of spatial information, utilizes data related to the use of rentable but seldom requested public places, multimedia data related to history (Fig. 11) and to the stored objects of the place, as well as data regarding the promotion of commercial activities.

These are intertwined with the needs emerging from the reading of the place, such as the orographic division of the community into two distinct areas or the lack of a city planning space. Therefore, it is possible to leverage the reading of the reality that emerges from the analysis of territorial data, then used as the variable content of fixed planning. The data collected are used both to read the characteristics of the place and as a design element of the space. The study proposes periscopes in augmented reality capable of superimposing past and future on the images of reality through an application to manage the reservations of the neighbourhood common spaces, a sort of talking object that suggests the commercial offers of activities adjacent to the installation.

Fig. 10 | La Maison sensible, designed by Scenocosme in collaboration with Lola and Yukao Meet, 2015 (credit: G. Lasserre & A. met den Ancxt; courtesy of Scenocosme).

Fig. 11 | Ideascape: Porth Teigr, designed by Calvium, 2017 (credit: Calvium; courtesy of Calvium).

Figgs. 12, 13 | Nature Trail, designed by Jason Bruges, 2012 (credits: J. Bruges; courtesy of Jason Bruges Studio).



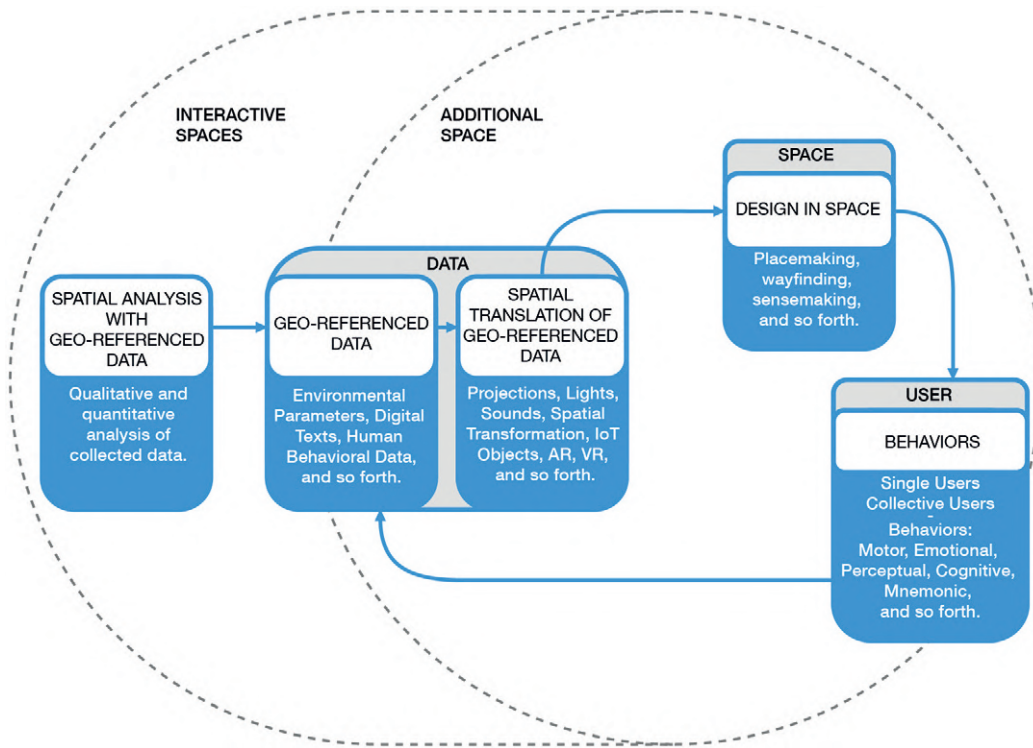


Fig. 14 | Spatial interactivity (credit: the Authors, 2022).

The Maynard team proposes⁹ a 'digital wayfinding' project for the Queen Elizabeth Olympic Park district in London. Following the administration's survey of critical issues related to navigation and orientation, designers proposed a wayfinding system in which information is given to individual users in real-time by taking advantage of small e-ink displays placed on low-energy street furniture elements. The 'digital sensemaking' project proposed by Bruges originates from the observation of the corridor leading to the operating rooms in the Great Ormond Street Hospital in London¹⁰, a children's hospital. A pre-design analysis revealed that the glow of the lights was particularly intense, the relationship between the width and height of the corridor was unbalanced, the length to travel was relevant and the vertical and horizontal surfaces were anonymous. The project involved the creation of an attention-captivating pathway in which young patients walk and interact with 72 thousand LED lights and sound effects that react to their presence, movement or touch of their hands, creating animal and plant silhouettes (Fig. 12, 13), transforming the crossing experience into an adventure of magical nature.

In the aforementioned case studies, the mutual relationship between user, data and space is accomplished after the design process has highlighted the criticalities of the places. To generate effective interactivity between intervention and added space, the analysis of the factual state of the place is carried out through qualitative and quantitative techniques capable of leveraging the digital and physical pre-existence of the place (Fig. 14). In this second group of cases studies, insights are gained into the possibility of developing a space from a traditionally unchanging dimension to a dynamic, open and malleable one. A space capable of tracking the changes required by individual needs in the various temporal and spatial scales, preliminarily suggesting a condition

and subsequently modifying it in a dialectical and dynamic relationship (with the same inhabitant) based on enabling human capacity and not on automating functions.

Recognizing that the spatiality of the lived world is a spatiality captured not by geometric measurements but by behavioural responses implies recognizing the evidence of emotional and bodily responses that persist at every architectural 'encounter'. Consequently, a purely generalized and 'disembodied' approach to designing and understanding the possibilities offered by built space is limiting, as it excludes the response to experience (which is always a two-way interaction) and that is how space is perceived, differing widely with information from objectively constructed spatial designs.

Conclusions and future developments | This contribution aspires to address the complex set of aforementioned critical issues, aiming to highlight contradictions and uncertainties as possible conditions for a new projectuality. Under the presented instances, there is no intention to identify definitive and demonstrative solutions, an inadmissible error of method considering the complexity and vastness of the topic addressed. Rather, the aim is to offer an insight into the dynamically changing reality in which we live, tracing new directions of possible future design research. The complexity of the topic requires a transdisciplinary research structure through the contribution of different design sensibilities, such as architectural and urban composition, architectural technology and product design, capable of interacting with research fields pertaining to human behaviour studies.

The new interpretation of the human-space-data relationship through the concept of spatial interactivity (inter-spatiality) aims to underline the implications of digital applied to the spaces. Digital implementation has consolidated into several ap-

plications ranging from surveillance to entertainment, from medical rehabilitation to museum exhibition design and commerce. However, compared to the new trajectories outlined by the paradigm of spatial interactivity, the simultaneous integration of digital information and built space requires a conceptual framework on which to anchor future experimentation, avoiding design approaches that utilize technology as a 'decorative' element of space. With this in mind, the present study aims to stimulate a new design approach using transdisciplinary expertise to systematize the physicality of space with digital layers capable of describing human experience on different temporalities.

The aforementioned case studies reveal thematic and design clusters of interest that can be used as a guide for further development on the topic; these include the manifestation in space of digital traces belonging to less visible or temporally asynchronous categories of users, the guidance of users in urban pathways that change in real-time thanks to data, and the invitation, support or even activation of multi-user behaviours within shared spaces by communities. By widening the scope, it is possible to examine all the elements that influence the form of outdoor and indoor physical space to ascertain the contaminations between the formal permanence of architectural physical space and the definition of 'other', virtual, less codified, more fluid and dynamic spatialities.

In this regard, there is a need for new and unprecedented experimental and applicative actions – to be placed side by side with the theoretical apparatus – on the relationship between the design of digitally added spaces and user behaviour, actions that can only be implemented through a network of different disciplinary sensitivities and expertise. Considering the space as an equal participant of the user in the construction of a perceptual experience implies the implementation of tools for a more intimate and refined understanding of perception by the inhabitants of the space, even before it is used. If, on the one hand, the senses and perceptions are the basis of how people experience space and, on the other hand, emotions, memory and materiality that connect comfort with history and personal culture are relevant factors when an inhabitant encounters a space to inhabit (Robinson, 2014), it is necessary to look at disciplinary horizons hitherto distant from the project culture since, in addition to 'how', it is also necessary to identify 'what' conditions the occupant in his inhabiting of the space.

The use of the paradigm of spatial interactivity proposed in the contemporary horizon of the project presents a wide applicability to multiple and dynamic situations, whether urban, landscape or architectural, public or private. The widespread dissemination of this new methodological approach to the project implies, at the same time, the overcoming of multiple critical issues and problems of a general and punctual nature. First of all, spatial interactivity requires implementation, and consequent articulation, of the organizational and process phases to build a design flow with adequate resources for the complex and long phases of quantitative and perceptive analysis of space; furthermore, a variety of professional skills and expertise are necessary but also difficult to structure from the initial stages of the design process; finally the economic availability for the tech-

nological implementation of space, both in the implementation phase and in the subsequent management phases, for data processing and equipment maintenance must be considered.

Spatial implementation linked to interactivity is a current field of research, capable of activating effective dialogues between communities and policymakers (Gaspari et alii, 2022). Access to the financial instruments provided by the European Community is not the only opportunity for the adoption of the proposed paradigm, but it certainly represents one of the most relevant resources for

the near future. In fact, there are many strategic funds put in place to meet the challenge of a digital future, provided by a network of integrated European programmes, such as the Digital Europe Programme, the Horizon Europe Programme for Research and Innovation and funds to connect Europe through digital infrastructures, for recovery and resilience, and structural ones, to name a few.

The development of the analytical phases through the use of digital tools is part of the continuous redefinition of the design process that supports the designer with new tools and profes-

sionalism related to data analysis. While on first reading the increase in cost might be a limiting criticality to the development and application of this paradigm, the hope is that a better understanding of the existing reality, urban and physical as well as immaterial and virtual, will result in a precise response to the needs of the community living the space.

Acknowledgements

The contribution is the result of a common reflection of the authors.

Notes

- 1) For more information, see the webpage: he-r.it/project/udatinos/ [Accessed 30 September 2022].
- 2) For more information, see the webpage: huachenxin.com/smog-shade [Accessed 30 September 2022].
- 3) For more information, see the webpage: futureforms.us/datagrove [Accessed 30 September 2022].
- 4) For more information, see the webpage: rootoftwo.com/project/whithervanes/ [Accessed 30 September 2022].
- 5) For more information, see the webpage: foxlin.com/portfolio_item/bubbles/ [Accessed 30 September 2022].
- 6) For more information, see the webpage: scenocosme.com/maison_sensible_e.htm [Accessed 30 September 2022].
- 7) For more information, see the webpage: trax.it/marcos_novak.htm [Accessed 30 September 2022].
- 8) For more information, see the webpage: calvium.com/explaining-the-ideas-at-ideascape-porth-teigr/ [Accessed 30 September 2022].
- 9) For more information, see the webpage: maynard-design.com/insight/smart-london-digital-wayfinding/ [Accessed 30 September 2022].
- 10) For more information, see the webpage: jasonbruges.com/art#/nature-trail/ [Accessed 30 September 2022].

References

- Brischetto, A. (2016), "Abitare connesso", in Follesa, S. (ed.), *Sull'abitare*, FrancoAngeli, Milano, pp. 160-167.
- Brown, J. S. and Weiser, M. (1997), "The Coming Age of Calm Technology", in Denning, J. and Metcalfe, R. M. (eds), *Beyond Calculation – The Next Fifty Years of Computing*, Copernicus-Springer, New York. [Online] Available at: link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4612-0685-9_6 [Accessed 30 September 2022].
- Canepa, E. (2019), *Neurocosmi – La dimensione atmosferica tra architettura e neuroscienze*, Tesi di Dottorato XXX ciclo, Dipartimento Architettura e Design, Università degli Studi di Genova, Tutors Scelsi, V. and Fassio, A., a.a. 2018-2019. [Online] Available at: iris.unige.it/handle/11567/944826 [Accessed 30 September 2022].
- Campisi, E. (2018), *Che cos'è la gestualità*, Carocci editore, Roma.
- Carelli, F. (2006), *Walkscapes – Camminare come pratica estetica*, Einaudi, Torino.
- Chatwin, B. (1988), *Le vie dei canti*, Adelphi, Milano.
- De Fusco, R. (1967), *Architettura come mass medium – Note per una semiologia architettonica*, Dedalo, Bari.
- De Greve, T., Malliet, S., Hendriks, N. and Zaman, B. (2022), "The Air Quality Lens – Ambiguity as Opportunity to Reactivate Environmental Data", in Mueller, F. F., Greuter, S., Khot, R. A., Sweetser, P. and Obrist, M. (eds), *DIS '22 Designing Interactive Systems Conference*, Association for Computing Machinery, New York, pp. 335-348. [Online]

Available at: doi.org/10.1145/3532106.3533530 [Accessed 30 September 2022].

Espuelas, F. (2004), *Il vuoto – Riflessioni sullo spazio in architettura*, Marinotti, Milano.

Floridi, L. (2017), *La quarta rivoluzione – Come l'infosfera sta trasformando il mondo*, Raffaello Cortina, Milano.

Formia, E. and Zannoni, M. (2018), "Geo-media e Data Digital Humanities – Il ruolo della memoria collettiva nel progetto del territorio", in *MD Journal*, vol. 5, pp. 116-129. [Online] Available at: materialdesign.it/media/formato2/allegati_6526.pdf [Accessed 30 September 2022].

Gallese, V. and Gattara A. (2021), "Simulazione incarnata, estetica e architettura – Un approccio estetico sperimentale", in Robinson, S., Pallasmaa, J. and Zambelli, M. (eds), *La mente in architettura – Neuroscienze, incarnazione e il futuro del design*, Firenze University Press, Firenze, pp. 161-175. [Online] Available at: doi.org/10.36253/978-88-5518-286-7.10 [Accessed 02 November 2022].

Gaspari, J., Antonini, E., Gianfrate, V. and Mehmeti, L. (2022), "Mappare la capacità di risposta ambientale di comunità per affrontare la transizione climatica | Mapping community environmental capacity to support climate responsive transition", in *Techne | Journal of Technology for Architecture and Environment*, vol. 23, pp. 117-126. [Online] Available at: oaj.fupress.net/index.php/techne/article/view/12135 [Accessed 02 November 2022].

Hall, E. T. (1966), *The hidden dimension*, Doubleday, New York.

Heidegger, M. (1976), "La cosa", in Heidegger, M., *Saggi e discorsi*, Mursia, Milano, pp. 109-124. [Online] Available at: monoskop.org/images/6/63/Heidegger_Martin_1976_La_cosa.pdf [Accessed 18 October 2022].

Karyotis, C., Doctor, F., Iqbal, R., James, A. and Chang, V. (2017), "Affect Aware Ambient Intelligence – Current and Future Directions", in *State of the Art in AI Applied to Ambient Intelligence*, IOS Press, vol. 298, pp. 48-67. [Online] Available at: doi.org/10.3233/978-1-61499-804-4-48 [Accessed 30 September 2022].

Lehman, M. L. (2016), *Adaptive sensory environment – An introduction*, Routledge, New York.

Mallgrave, H. F. (2018), "From 'Object' to Experience", in Robinson, S., Gattara, A. and Ruzzon, D. (eds), *Intertwining – Unfolding Art and Science*, Mimesi Edizioni, Milano, vol. 1, pp. 59-78.

Merleau-Ponty, M. (2005), *Fenomenologia della percezione* [or. ed. *Phenomenologie de la perception*, 1945], Studi Bompiani, Milano.

Nagarajan, M., Sheth, A. and Velmurugan, S. (2011), "Citizen sensor data mining, social media analytics and development centric web applications", in Sadagopan, S., Ramamirtham, K., Kumar, A. and Ravindra, M. P. (eds), *WWW '11 Proceedings of the 20th International Conference Companion on World Wide Web*, Association for Computing Machinery, New York, pp. 289-290. [Online] Available at: doi.org/10.1145/1963192.1963315 [Accessed 30 September 2022].

Negroponte, N. (1995), *Being Digital*, Hodder and Stoughton, London.

Neutra, R. J. (1954), *Survival Through Design*, Oxford University Press, New York.

Norman, D. (2013), *The design of everyday things*, Dou-

bleday, New York. [Online] Available at: sunyoungkim.org/class/old/hci_f18/pdf/The-Design-of-Everyday-Things-Revised-and-Expanded-Edition.pdf [Accessed 30 September 2022].

Pallasmaa, J. (2014), "Space, Place, and Atmosphere – Peripheral Perception in Existential Experience", in Borch, C. (ed.), *Architectural Atmospheres – On the Experience and Politics of Architecture*, Birkhäuser, Berlin, pp. 18-41.

Perriccioli, M., (2021), "L'alleanza tra ecologia e cibernetica per una nuova scienza del progetto | The alliance between ecology and cybernetics for a new design science", in *Techne | Journal of Technology for Architecture and Environment*, vol. 21, pp. 88-93. [Online] Available at: doi.org/10.36253/techne-9855 [Accessed 30 September 2022].

Poëte, M. (1958), *Introduzione all'urbanistica – La città antica*, Einaudi, Torino.

Postma, A. and Koenderink, J. J. (2017), "A Sense of Space in Spatial Functions of the Human Brain", in Postma, A. and van der Ham, I. J. M. (eds), *Neuropsychology of space – Spatial functions of the human brain*, Elsevier Academic Press, Cambridge, pp. 1-34. [Online] Available at: doi.org/10.1016/B978-0-12-801638-1.00001-X [Accessed 30 September 2022].

Ratti, C. and Claudel, M. (2017), *La città del domani – Come le reti stanno cambiando il futuro urbano*, Giulio Einaudi Editore, Torino.

Robinson, S. (2014), *Nesting – Fare il nido – Corpo, dimora, mente*, Safarà editore, Pordenone.

Rossi, A. (1966), *L'architettura della città*, Marsilio, Venezia.

Ruzzon, D. (2021), "Le neuroscienze applicate alla progettazione", in *The Plan*, 21/04/2021. [Online] Available at: the-plan.it/contract/002/neuroscienze-e-architettura-1-alveare-concept-funzionale-e-identitario [Accessed 02 November 2022].

Shi, Y. (2018), "Interpreting User Input Intention in Natural Human Computer Interaction", in Mitrovic, T. and Zhang, J. (eds), *UMAP '18 – Proceedings of the 26th Conference on User Modeling, Adaptation and Personalization*, Association for Computing Machinery, New York, pp. 277-278. [Online] Available at: doi.org/10.1145/3209219.3209267 [Accessed 30 September 2022].

Ungers, O. M. (1998), "Pensieri sull'architettura", in Ungers, O. M. (ed.), *O. M. Ungers – Opera completa 1991-1998*, Electa, Milano, pp. 9-21.

Vogel, D. and Balakrishnan, R. (2004), "Interactive public ambient displays – Transitioning from implicit to explicit, public to personal, interaction with multiple users", in Feiner, S. (ed.), *UIST '04 – Proceedings of the 17th annual ACM symposium on User interface software and technology*, Association for Computing Machinery, New York, pp. 137-146. [Online] Available at: doi.org/10.1145/1029632.1029656 [Accessed 30 September 2022].

Zannoni, M. (2018), *Progetto e interazione – Il design degli ecosistemi interattivi*, Quodlibet, Macerata.

LO SPAZIO PUBBLICO ADATTIVO

Esplorare la transizione digitale
per il benessere sociale e ambientale

ADAPTIVE PUBLIC SPACES

Exploring digital transition for
social and environmental benefit

Bianca Andalaro, Martijn de Waal, Frank Suurenbroek

ABSTRACT

Le attuali sfide sociali e ambientali, l'impatto del cambiamento climatico e la pandemia da Covid-19 hanno rivelato l'urgenza e l'opportunità di ripensare la progettazione urbana, attraverso nuovi spazi e temporalità. In particolare la pandemia ha costituito un esperimento naturale per indagare e sviluppare nuove prospettive progettuali, tra cui rendere gli spazi pubblici più resilienti. Con l'obiettivo di contribuire al ripensamento degli spazi pubblici, il presente contributo esplora la combinazione di architettura adattiva e tecnologie responsive e la loro capacità di plasmare gli spazi pubblici, costituendosi come elemento di conversazione con l'ambiente circostante. Questo approccio coinvolge campi disciplinari diversi quali l'architettura, il design dell'interazione civica e la progettazione urbana e introduce un'esplorazione progettuale speculativa, realizzata all'interno di una più ampia ricerca dell'Università di Scienze Applicate di Amsterdam, in collaborazione con il Master in Digital Design.

The present social and environmental challenges, the impact of climate change and the pandemic, revealed the urgency and the opportunity to rethink urban design through its renewed spaces and temporalities. The pandemic offered a 'natural experiment' to explore and develop new perspectives, making public spaces more resilient. Contributing towards a rethink of these spaces, the present paper explores adaptive architecture with responsive technologies and their capability of shaping public spaces to constitute a conversation piece with the surrounding environment. This approach combines and reflects different disciplinary fields: architecture, civic interaction and urban design. The exploration works around a speculative design case – produced as part of broader research at the Amsterdam University of Applied Science in collaboration with the Master in Digital Design.

KEYWORDS

architettura adattiva, tecnologie responsive, resilienza, spazio pubblico, digitale

responsive technology, adaptive architecture, resilience, public space, digital

Bianca Andalaro, Architect, is a PhD Candidate in Architectural Design at the University of Palermo (Italy). She carries out research on the topic of architectural characters, exploring how their role and their meaning in the design process are changing within resilient adaptive architecture. Mob. +39 347/57.15.617 | E-mail: bianca.andalaro@unipa.it

Martijn de Waal is an Amsterdam University of Applied Sciences Professor of the research group Civic Interaction Design (Netherlands). His research focus is on the relation between digital media and public space, with a specific interest in civic media and digital placemaking. In 2009 he was a visiting scholar at the MIT Centre for Civic Media. E-mail: b.g.m.de.waal@hva.nl

Frank Suurenbroek is an Amsterdam University of Applied Sciences Professor of Spatial Urban Transformation at the Faculty of Technology (Netherlands). His Chair conducts practice-oriented research into spatial projects and how they shape and contribute to liveable and future-proof cities. The research projects focus on: physical-social linkage in urban renewal, resilient public space and urban densification. E-mail: f.suurenbroek@hva.nl



Tra le città europee la pandemia da Covid-19 e le sue successive fasi hanno fatto emergere la necessità e l'occasione di ripensare il modo in cui guardare le città per meglio progettarle. In particolare sono emerse nuove esigenze per l'organizzazione e la gestione degli spazi pubblici legate alle attuali configurazioni spaziali, al duplice fine di consentire la fruizione degli spazi pubblici e garantire il distanziamento sociale (Gualtieri et alii, 2022). Tali necessità costituiscono requisiti progettuali specifici che attivano in architetti e designer il desiderio di esplorare nuovi approcci progettuali per gli spazi collettivi. Questa condizione contingente ha dunque posto le basi per una diversa significazione dei valori socio-culturali di questi spazi, al fine di sviluppare un approccio resiliente che non si limiti al solo fine preventivo. Il grave e prolungato impatto della pandemia ha infatti reso strutturali alcune necessità temporanee e ha contribuito alla definizione delle recenti iniziative contenute nel Green Deal, uno strumento emanato dall'Unione Europea¹ che, attraverso la transizione digitale e verde, mira a definire un modello di società più sostenibile e inclusiva.

La pandemia ha certamente avuto un impatto significativo sulle modalità di interazione sociale e sul ruolo degli spazi pubblici, generando allo stesso tempo un impulso per nuove opportunità di progettazione. In questo contesto emergenziale il presente contributo si propone di esplorare le potenzialità di questi spazi attraverso un progetto speculativo, a partire dalla nozione di spazio pubblico come luogo in cui si costruisce e si alimenta il tessuto sociale e dove è possibile sperimentare l'adattamento ai fenomeni culturali e ambientali.

A tale scopo, infatti, si presenta una iniziale riflessione sull'impatto della 'architettura mediale', un campo interdisciplinare piuttosto recente, che permette di sovrapporre alla fisicità dello spazio pubblico il nuovo livello digitale, derivato invece dai moderni media di comunicazione. Grazie a questa commistione tra fisico e digitale, l'architettura mediale ha introdotto il carattere di interattività, dando l'avvio all'implementazione di approcci trasformativi alle diverse scale del progetto. Tra queste l'architettura adattiva costituisce una possibile soluzione per generare un dialogo trilaterale tra uomo, costruito e ambiente, sostenuto e alimentato da una forte componente digitale e tecnologica. Grazie all'utilizzo di tecnologie responsive, infatti, la progettazione adattiva affronta questioni insieme ambientali e sociali attraverso la riconfigurazione fisica dello spazio.

Nello specifico il contributo illustra un progetto speculativo relativamente recente che si propone di intervenire nella riconfigurazione fisica di una piazza olandese, al fine di rispondere sia alle esigenze dettate dalle misure di prevenzione della pandemia sia dal perpetuarsi di alcune condizioni meteorologiche locali. Il progetto elaborato, dal titolo Adaptive Architecture for Resilience, dimostra la centralità della componente digitale e multiscale dell'approccio adattivo, qui declinato nello spazio pubblico.

Adattività e responsività negli spazi pubblici |

La relazione tra tessuto costruito e sociale si manifesta in particolar modo negli spazi compresi tra gli edifici e dunque nello spazio pubblico (Gehl, 2011): questi spazi esterni, siano essi collettivi o pubblici, svolgono infatti un ruolo cruciale nel de-

finire un senso di identità, di appartenenza o di estraneità per le comunità di riferimento, un luogo in cui soffermarsi, esprimersi o da attraversare. I primi studi pionieristici sugli spazi pubblici, come quelli di Jane Jacobs (1961) e William Whyte (1988), hanno inoltre definito con forza e determinazione questi luoghi come gli spazi principali delle interazioni e delle pratiche non normate, in cui le configurazioni spaziali e le pratiche umane si influenzano vicendevolmente² (Willis and Aurigi, 2011; Suurenbroek, Nio and de Waal, 2019; De Capua and Errante, 2019). In questo senso, come nota Hespagnol (2018), al fine di sfruttare il loro intrinseco potenziale per esprimere un significato altro, gli spazi pubblici possono ospitare diversi tipi di interazioni, spesso veicolate attraverso gli strumenti dell'arte, per contribuire alla definizione dell'identità della comunità coinvolta.

La commistione tra arte e strumenti digitali³ negli spazi pubblici ha suscitato negli ultimi decenni ampio interesse presso la comunità scientifica, soprattutto attraverso processi che fanno del carattere di interattività l'elemento connotativo del progetto. In quest'ottica vanno infatti lette le numerose esperienze di integrazione di sistemi tecnologici dotati di sensori e attuatori che operano in tempo reale nello spazio in cui si trovano: si tratta principalmente di installazioni, mini-architetture o edifici aumentati che utilizzano e producono un gran quantitativo di dati per migliorare l'efficienza dei servizi e della fase di gestione (Pollo, Giovanardi and Trane, 2021). Le interazioni incorporate favoriscono uno spazio più vivibile, in cui la componente artistica ricopre un ruolo centrale: l'elemento ludico, incoraggiando la partecipazione e attraverso espedienti spaziali, può infatti introdurre alle questioni ambientali. L'aggiunta del layer digitale negli spazi pubblici, inoltre, definisce un nuovo lessico per l'interazione e le narrazioni sociali.

Pertanto un approccio capace di intervenire spazialmente sui caratteri del costruito, creando una duplice relazione con l'uomo che abita gli spazi e con l'ambiente, può contribuire a investigare i temi del tempo, come dimensione fenomenologica dell'architettura, e del cambiamento spaziale, in quanto dimensione concettuale (Kolarevic and Parlac, 2015). Con queste finalità l'architettura adattiva si differenzia dagli altri approcci trasformativi perché capace di auto-regolarsi, di gestire comportamenti imprevedibili e di apprendere da essi e dai suoi utenti (Yiannoudes, 2016), attuando trasformazioni spaziali in risposta ai fattori ambientali e salvaguardando la sicurezza e il comfort degli edifici e degli utenti (Ulber and Mahall, 2019)⁴. Per l'autonomia, l'approccio dinamico e la capacità di risposta in tempo reale, dunque, essa si presta ad esplorare la relazione tra ambiente, uomo e progetto.

Sebbene numerosi progetti adattivi in spazi pubblici siano stati realizzati per far fronte ai cambiamenti ambientali anche senza il supporto di strumenti digitali⁵, negli ultimi decenni si possono notare molti progressi soprattutto alla scala dell'edificio, consentendo la trasformazione fisica dei manufatti architettonici, per adattarsi all'ambiente. In questo processo le tecnologie incorporate permettono di utilizzare dati in tempo reale, dando vita a un sistema responsivo: materializzati nel mondo reale, gli approcci adattivi e le tecnologie responsive portano alla produzione di nuovi spazi ibridi, in cui gli utenti e i passanti possono instau-

rare un dialogo fisico e virtuale con l'ambiente circostante.

Per la presenza di sistemi che mirano all'interazione con gli utenti e per il ruolo che i dispositivi tecnologici digitali ricoprono negli spazi pubblici, l'architettura adattiva fa propri gli elementi e le relazioni dall'architettura mediale che, nelle sue differenti sfaccettature, esplora diverse possibilità di trattare lo spazio pubblico attraverso questioni culturali. Ad esempio essa può costituire il veicolo per affrontare le questioni ambientali creando una narrazione intorno a un fenomeno naturale in mutazione, come nel caso di Waterlicht (Fig. 1), un'installazione immersiva sull'innalzamento del livello dell'acqua nei Paesi Bassi realizzata dallo studio olandese Roosegaarde; può interagire con il comportamento e i movimenti delle persone, come le installazioni Interference in Danimarca, progetto della società danese Kollision nel 2015 (Fig. 2), o Platform 5, dello studio Jason Bruges (Fig. 3), che si relazionano con il movimento delle persone nei sottopassaggi o nelle stazioni attraverso effetti luminosi; può rappresentare interesse ed emozioni dei passanti, come The Mood Gasometer/Public Face, degli artisti J. von Bismarck, B. Maus e R. Wilhelmer nel 2020; o ancora, può costituire uno strumento di espressione sociale attraverso i media digitali, come Megafone di Moment Factory (Fig. 4), dove la facciata dell'edificio proietta alcune trascrizioni vocali delle persone nella piazza pubblica adiacente e alcuni dei loro tweet.

Questi progetti mostrano alcune soluzioni per affrontare le questioni sociali e ambientali negli spazi pubblici attraverso tecnologie responsive: in questo modo essi creano una narrazione su determinati argomenti, generando un'azione di sensibilizzazione nell'ottica di un approccio più resiliente alla città; nonostante ciò si configurano principalmente come installazioni temporanee che utilizzano i dati in modo intangibile e, pur volendo creare un'esperienza immersiva, non intervengono sulla configurazione spaziale dei luoghi.

Dalla spettacolarizzazione del divertimento alla sensibilizzazione sui temi culturali, le installazioni citate adottano gli strumenti digitali in modi diversi, immaginando nuovi tipi e nuovi scopi per l'interazione. Attraverso l'uso di tali approcci progettuali, nell'ottica di rispondere a fattori di stress improvvisi ambientali o sociali, l'architettura adattiva aggiunge il livello del digitale per contribuire a un nuovo significato dello spazio pubblico; tra i fattori di stress esterni, la pandemia ha fornito l'opportunità progettuale di riflettere sul significato spaziale delle pratiche non normate in relazione alle misure di prevenzione contro il Covid-19.

Research-through Design per un approccio speculativo |

Dalla collaborazione tra diverse unità dell'Università di Scienze Applicate di Amsterdam è stato sviluppato nel 2022 il caso studio Adaptive Architecture for Resilience, adottando la metodologia di Research-through-Design⁶ (RtD), allo scopo di integrare l'architettura adattiva e la tecnologia responsiva nello spazio pubblico. Questa esperienza ha costituito un'attività parallela del più ampio progetto di ricerca From Prevention to Resilience⁷, finanziato dall'Organizzazione olandese per la Ricerca Sanitaria e l'Innovazione dell'Assistenza (ZonMw), e in collaborazione tra le cattedre di Spatial Urban Transformation e Civic Interaction Design (Amsterdam Uni-



Fig. 1 | Waterlicht in Amsterdam, designed by Studio Roosegaarde, 2015 (credit: studiuroosegaarde.net).

versity of Applied Sciences – AUAS) insieme a un ampio consorzio di professionisti. Per comprendere la potenzialità di avere configurazioni spaziali specifiche in risposta a fattori di stress esterni il progetto si propone, attraverso un approccio speculativo, di definire lo spazio pubblico in risposta ai requisiti spaziali delle prescrizioni anti Covid-19, così come ad altre condizioni ambientali tipo il forte vento. In questo modo il progetto, realizzato in una sessione trimestrale intensiva, esplora le possibilità dell'architettura adattiva nello spazio pubblico.

Il caso di studio è stato elaborato nell'ambito del Master in Digital Design (AUAS)⁸ e il gruppo di giovani designer coinvolti ha progettato due soluzioni spaziali per una piazza olandese nella città di Amsterdam. La piazza, pavimentata con piastrelle quadrate, quali attuatori dell'intero sistema adattivo, presenta una configurazione modulare che ha fornito la possibilità di esplorare diverse declinazioni di un tipo unico. Esse costituiscono il mezzo di comunicazione tra gli utenti, lo spazio pubblico e le informazioni ambientali o sociali. A partire da queste condizioni sono stati progettati due diversi scenari: il primo i cui elementi modulari fossero configurati per rispondere alle indicazioni per il contenimento della pandemia e in cui il distanziamento sociale costituisse un requisito di progettazione; il secondo per far fronte alla presenza di venti forti, una condizione meteorologica comune e limitante nei Paesi Bassi (Fig. 5).

Resilienza e pandemia nello spazio pubblico |

Scopo del primo scenario, legato alla condizione pandemica, è progettare la piazza per garantire una fruizione sicura dello spazio pubblico e mantenere la distanza raccomandata. I giovani designer hanno iterato diverse soluzioni progettuali, valutando forme e modalità di interazione differenti che più si adattassero alla complessità dello spazio, attraverso modelli fisici, virtuali e interattivi⁹ (Fig. 6). La piazza è stata progettata per sezioni concentriche: sul bordo, e per una profondità di dieci metri, alcune piastrelle sono state implementate con sensori di movimento e programmate, sulla base dell'affluenza nella piazza, per muoversi verso l'altro e consentire alle persone di sedersi; quelle che non servono a questo scopo, invece, segnalano tramite una variazione cromatica quando la distanza raccomandata tra le persone non è mantenuta.

Solleandosi rispetto al piano di calpestio, le piastrelle al centro della piazza forniscono un espediente comunicativo per i fruitori dello spazio poiché configurano un basamento attraverso la cui

conformazione spaziale è possibile visualizzare in tempo reale il livello di ospedalizzazione registrato dall'Istituto Nazionale Olandese per la Salute Pubblica, secondo tre diversi livelli (Figg. 7-12): più basso è il numero di contagiati più luminose e meno alte saranno le piastrelle, più è alto è il numero di ospedalizzati e meno luminose e più rialzate saranno le piastrelle. Grazie alla complessità degli aspetti coinvolti (fisici, analogici, digitali e virtuali), scopo del progetto è fornire ai frequentatori un'esperienza sempre diversa e presentare la piazza secondo un aspetto mutevole. Tuttavia tra le sfide principali che l'adattività pone negli spazi pubblici va considerata la necessità di confrontarsi con l'imprevedibilità degli individui che si muovono e vivono lo spazio. Pertanto il progetto elaborato veicola l'interazione tra gli utenti e i volumi della piazza tramite l'installazione di sensori di presenza e di movimento sui bordi delle piastrelle.

Adattività a fenomeni ambientali | Un simile approccio è stato elaborato per fronteggiare fattori di stress ambientale, tra i quali è stata individuata una condizione molto comune, seppure innocua, del clima olandese ovvero la presenza di forti venti. Come nel primo scenario relativo alla pandemia, la piazza è costituita da piastrelle capaci di muoversi verticalmente nello spazio e dotate di sensori che percepiscono sia la presenza sia il movimento delle persone per garantire loro un'esperienza sicura. Al contempo le piastrelle sono implementate con il collegamento al Royal Netherlands Meteorological Institute, che comunica i dati meteorologici in tempo reale, individuando così una nuova variabile capace di influenzare la conformazione spaziale della piazza: al variare dell'intensità del vento interi blocchi di piastrelle si elevano in forme sinuose, creando luoghi riservati dove sedersi e riunirsi, nonostante la presenza di un fattore di stress ambientale (Figg. 13, 14). Attraverso lo stesso meccanismo progettuale, dunque, questo scenario definisce differenti configurazioni spaziali per la stessa piazza, fruibili in momenti diversi e attraverso interazioni appropriate tra spazio e utente.

Limiti e potenzialità | Il progetto elaborato nel Master in Digital Design ha offerto la possibilità di testare e digitalmente prototipare l'approccio adattivo nello spazio pubblico, esplorando limiti e possibilità di tale applicazione, attraverso due scenari diversi per natura e carattere. Da un punto di vista progettuale la scelta di un sistema modulare introduce la possibilità di replicare il sistema attraverso diverse variazioni di una iniziale configurazione spaziale. Tuttavia fattori come la gestione e l'aggiornamento dei sensori, la posizione e la relazione tra spazio costruito, sensori¹⁰ e altri elementi del sistema, si pongono come oggetto di un potenziale approfondimento. La modularità del progetto consente invece una drastica diminuzione delle attività di manutenzione, dei costi e della complessità tecnica, prefigurando la possibilità che un tale spazio possa supportare un'infrastruttura più ampia che includa i temi della sostenibilità e del risparmio energetico attraverso dispositivi autosufficienti piezoelettrici (Vigo Majello, 2020) o fotovoltaici (Howarth, 2014).

Inoltre l'adattività del sistema, incline a interfacciarsi con gli utenti e i passanti, richiede una riflessione specifica sul comportamento impreve-

dibile degli utenti nello spazio; se durante i momenti di maggiore restrizione legate al Covid le persone erano più inclini e abituate a seguire regole precise, è corretto notare che in generale, e nello specifico nello spazio pubblico, non è facile prevedere ogni tipo di movimento. Per questo motivo un tale spazio pubblico adattivo necessita di essere 'alimentato' attraverso modelli di informazioni sul comportamento delle persone, così da attivare meccanismi di previsione.

La ricerca di una continua interazione in tempo reale tra le parti richiede la progettazione di un sistema inter-scalare, in cui ogni componente è progettato per una posizione e un ruolo specifici all'interno di un quadro più ampio che ne definisce il funzionamento. Il rapporto tra le diverse scale deriva dalla commistione tra progetto resiliente e architettura adattiva, siano essi intesi alla scala del territorio, dello spazio pubblico o dell'edificio: in questo modo, per stimolare l'interattività, si combinano aspetti fisici e virtuali che consentono di esperire spazi diversi in tempi differenti, in un complesso equilibrio di elementi micro e macro (Antonini, 2019). L'adattività e la responsività richiedono anche una riflessione su approvigionamento energetico, sicurezza, aspetti normativi e legali e durabilità di un'installazione all'aperto, poiché soggetta alle costanti influenze climatiche e umane¹¹, coinvolgendo necessariamente figure disciplinari diverse al fine di contribuire alla costruzione di un tessuto sociale.

Queste ultime considerazioni portano a un'ulteriore riflessione sul processo stesso di progettazione: al fine di soddisfare l'approccio adattivo e per trasformarsi spazialmente in base ai vari scenari temporali, il progetto deve essere profondamente inter-scalare, intessere una stretta relazione tra elementi materiali e immateriali, arricchire la visualizzazione dei dati attraverso le sue modificazioni, non limitandosi a comunicare un'informazione agli utenti, ma cercando di influenzarne le pratiche attraverso le forme urbane.

Conclusioni | Il progetto Adaptive Architecture for Resilience rappresenta un'occasione di studio delle opportunità e delle possibilità di un approccio adattivo in uno spazio pubblico attraverso tecnologie responsive. Il progetto speculativo proposto solleva domande e criticità sull'applicazione delle tecnologie responsive al pubblico, in particolare sulla correlazione tra la tecnologia come strumento di progettazione e il processo di ricerca della forma e su diverse questioni etiche che interessano le pratiche sociali, ma allo stesso tempo prefigura nuovi possibili approcci nella progettazione.

Il caso studio esplorato dimostra che l'architettura non riguarda solo il tangibile e il visibile, ma è oggi continuamente arricchita da una complessità di elementi digitali e immateriali che permettono di ottenere benefici, insieme sociali e ambientali. L'approccio progettuale adattivo, dunque, contribuisce a rafforzare il ruolo già cruciale della transizione digitale in architettura, affrontando e influenzando i benefici sociali e ambientali e rispondendo all'esigenza di una digital innovability¹². Si può infatti affermare che il tema della resilienza, alle sue diverse scale e nei suoi diversi ambiti, è al tempo stesso astratto e concreto e che l'architettura adattiva tenta di affrontarlo a un livello intermedio in cui l'uomo e l'ambiente sono connessi attraverso lo spazio costruito.

Come riferito da Mikael Wiberg (2015), l'architettura e l'informatica, spinte dall'obiettivo finale di integrare in modo ubiquo la tecnologia nello spazio e pur occupandosi di questioni diverse (il fisico e il digitale), sembrano destinate a convergere l'una verso l'altra: la complessità dei mondi costruiti è profondamente intrecciata con le tecnologie di rilevamento che collaborano a tutte le fasi del progetto. Inoltre attraverso i già citati caratteri architettonici di inter-scalarità, multi-materialità e multi-temporalità (Andaloro, 2021), l'approccio adattivo aggiunge un livello fisico alla trasformazione dell'ambiente costruito; così facendo influenza anche il comportamento delle persone rispondendo a esigenze eterogenee. Per questo motivo, e come mostrato dal caso studio, esso può rispondere a diverse esigenze di resilienza, affrontando fattori di stress ambientali e sociali.

All over urban Europe, the pandemic and its subsequent phases sparked the opportunity and necessity to rethink the way we approach cities and design for them. In particular, new demands for the organization and usage of public spaces emerged, requiring new spatial configurations to allow enjoying public spaces and keeping the social distance at the same time (Gualtieri et alii, 2022). These demands soon became specific design requirements, stimulating architects and designers to explore new ways to design and shape collective spaces. By envisioning the potential for social resilience, this situation has allowed rethinking the socio and cultural meaning of these spaces, to develop a resilient approach that is not limited to a preventive purpose. Moreover, the severe and enduring impact of the pandemic on society, pivoted the temporal necessities into structural challenges as addressed by the European Union's new Green Deal¹. In this frame, the digital and green transition would be the engine to contribute to a more inclusive sustainable society.

The pandemic has had a huge impact on the way people interact with each other – and the role of public spaces – creating momentum for new design opportunities. In this contribution, we aim to explore these opportunities of public spaces through a speculative design approach. We built on the notion of public spaces as places where the social fabric is constructed and produced and where it is possible to experiment with adaptation toward cultural and environmental phenomena.

To this end, an initial reflection is presented on the impact of media architecture, a new interdisciplinary field assuming the city space as an interplay of physical and digital layers. By intertwining the physical and the digital element, media architecture has introduced the character of interactivity, activating transformative design approaches at different scales. Among them, adaptive architecture is a possible solution to trigger a dialogue between man, buildings and the environment, fuelled by a strong digital and technological component. Responsive technologies allow adaptive architecture to address both environmental and social issues through the physical reconfiguration of space.

The paper introduces a relatively recent speculative project, which aims to intervene in the physical reconfiguration of a Dutch square. The project, Adaptive architecture for Resilience, show-

cases the core role of the digital element and multi-scalar approach of adaptiveness in public spaces, to respond both to the restraining measures of the pandemic and the perpetuation of specific local weather conditions.

Adaptiveness and responsiveness in public spaces | The relationship between the built and the social fabric manifests not only, but most crucially, in the spaces between buildings as well as the public space (Gehl, 2011). In this relationship, the outdoor space, intended as collective or public, plays an important role in defining a sense of identity, belonging or repulsion for its community: it constitutes the blueprint of society, a place for people to linger, to express themselves or just to pass-by. Studies from early pioneers of public spaces, such as Jane Jacobs (1961) and William Whyte (1988) have already strongly and fiercely defined these places as the main spaces where interaction and non-standard human practices can take place. In this sense, spatial configuration and human practices are strongly intertwined and influenced by each other² (Willis and Aurigi, 2011; Suurenbroek, Nio and de Waal, 2019, De Capua and Errante, 2019). Furthermore, to exploit their «[...] potential to become meaningful» (Hespanhol, 2018, p. 110), they can host different kinds of interactions, among which artistic expression, to contribute to the definition of the identity of the involved community.

The mixing of art and digital tools³ in public spaces has displayed a broad interest in recent decades, and has defined the character of interactivity as a denotative element of the project. Embedding sensors and actuators to have a real-time responding space is becoming more common: they are mainly installations, mini-architectures or augmented buildings, which use and produce a large amount of data to improve the efficiency of services and economic management (Pollo, Giovanardi and Trane, 2021). By doing this, the embedded interactions define a more liveable space, also supported by artistic means: the sense of playfulness often encourages people's participation and through spatial expedients, it can introduce environmental issues. Adding the digital layer in public spaces opens a new lexicon for interaction and narratives.

This approach, by spatially intervening in the built environment, creates a dual relationship between people and the environment. Therefore, it can contribute to investigating the issues of time, as a phenomenological dimension of architecture, and spatial change as a conceptual dimension (Kolarevic and Parlac, 2015). With these aims, adaptive architecture differs from other transformative approaches for being able to be self-regulating, managing unpredictable behaviours and learning from it and its users (Yiannoudes, 2016). It can also implement spatial transformations in response to environmental factors and ensure the safety and comfort of buildings and users (Ulber, 2019)⁴. Due to its autonomy, dynamic approach and real-time responsiveness, it can explore the relationship between the environment, humans and the project.

Although many adaptive projects in public spaces cope with environmental changes even without the support of digital tools⁵, several advances can be seen in recent decades, especially

at the scale of the building. In this sense, they enable the physical transformation of architectural artefacts, to adapt to the environment. In this process, the interactive technologies embedded allow for the incorporation of real-time data, resulting in a responsive system. Materialized in the real world, adaptive approaches and responsive technologies result in the production of new hybrid spaces, where the users and passers-by could engage in a physical and virtual dialogue with the surrounding environment.

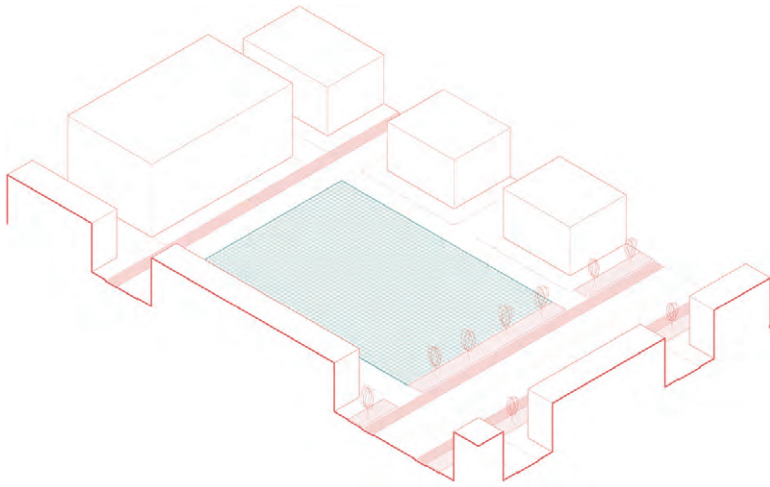
Due to the presence of interactive systems and the role that digital devices play in public spaces, adaptive architecture appropriates elements and processes from media architecture. The variety of facets offered by media architecture opens the diverse possibility of dealing with the public space and approaching cultural questions. Among the others, it can engage with environmental questions creating a narrative around a natural phenomenon that is changing, as in the case of Waterlicht (Fig. 1), an immersive installation about the rising water level in the Netherlands by the Dutch studio Roosegaarde. In the alternative, it can interact with people's behaviour and movements, like Interference in Denmark, designed by the Danish company Kollision in 2015 (Fig. 2) or Platform 5, by Jason Bruges studio (Fig. 3), which interact with the movement of people in underpasses or stations through lights effects, or



Fig. 2 | Interference in Kolding, designed by Kollision, 2015 (source: kollision.dk).

Fig. 3 | Platform 5 in Sunderland, designed by Jason Bruges studio, 2011 (source: jasonbruges.com).

Fig. 4 | Megafone in Montreal, designed by Moment Factory, 2013 (source: momentfactory.com).



Site plan

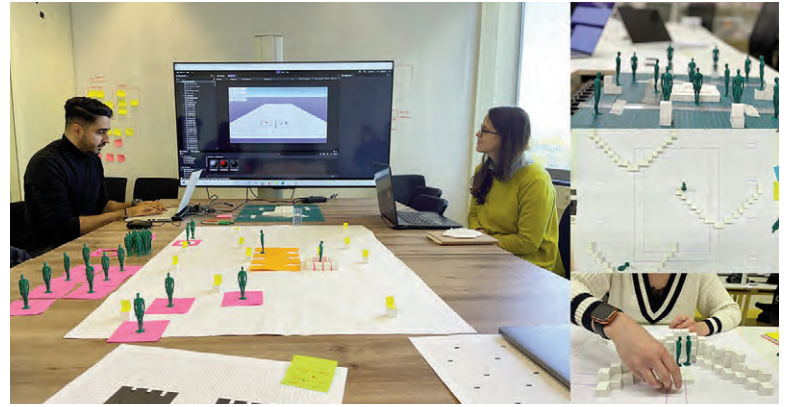


Fig. 5 | Adaptive architecture for resilience, MDD, 2021: axonometry of the site as given (credit: B. Andaloro).

Fig. 6 | Prototyping phase for defining the interaction between people and the public space (source: masterdigitaldesign.com).

The Mood Gasometer/Public Face, by artists J. von Bismarck, B. Maus and R. Wilhelmer in 2020, which represent the mood of passers-by through a light installation. In addition, they can also define a tool for people to express themselves through digital media, like Megafone by Moment Factory (Fig. 4), where the facade of the building projects speech transcripts of people in the adjacent public square as well as some of their tweets.

What these projects show is that it is possible to tackle both social and environmental issues at the scale of public spaces through responsive technologies: this creates a narrative and raises awareness on specific topics, aiming for a more resilient approach to the city. Despite this, they are often temporary installations that use data in an intangible way. Furthermore, they do not aim to affect the spatial configuration of the places whilst still creating an immersive experience.

From the spectacularization of fun to the act of raising awareness of cultural issues, these installations adopt digital tools in different ways, envisioning new types of interaction. Through the use of these design approaches, and to respond to sudden environmental or social stressors, adaptive architecture contributes to a new meaning of public space through a new digital layer. Among the external stressors, the pandemic provided a design opportunity to reflect on the spatial meaning of non-standard practices concerning Covid-19 prevention measures.

Research-through Design for a speculative approach | A Research-through-Design⁶ (RtD) opportunity came about in 2022. The case study Adaptive Architecture for Resilience sees the collaboration between different units of the Amsterdam University of Applied sciences and speculates on the possibility of integrating adaptive architecture and responsive technology in the public space. It can be considered as a parallel activity in the broader research project From Prevention to Resilience⁷, funded by the Dutch organization for health research and care innovation (ZonMW), and developed as a collaboration between the chairs of Spatial Urban Transformation and Civic Interaction Design (Amsterdam University of Applied Sciences – AUAS) and a large consortium from practice. In order to understand the possibility of designing specific spatial configurations in response

to different stressors, the speculative project described in this paper set out to design public space in a way to deal with the Covid-19 spatial requirements and prescriptions and other environmental conditions, such as the high wind. As such, this compact design seeks to understand the possibilities of adaptive architecture in public space.

The case study was defined within the Master of Digital Design (AUAS)⁸ and the group of involved young designers responded to a brief illustrating a Dutch non-situated square, envisioned in the city of Amsterdam and paved with squared tiles. It was assumed, this modular spatial layout sets the stage for a more explorative and spatial-digital approach. Interactive technology was provided. While the type and the position of the sensors were a task for the team, the tiles of the pavement were intended as the actuator of the whole system that would then constitute a medium between the users, the public space and the environmental or social information. The choice of a modular design allowed the exploration of different variations of a unique type.

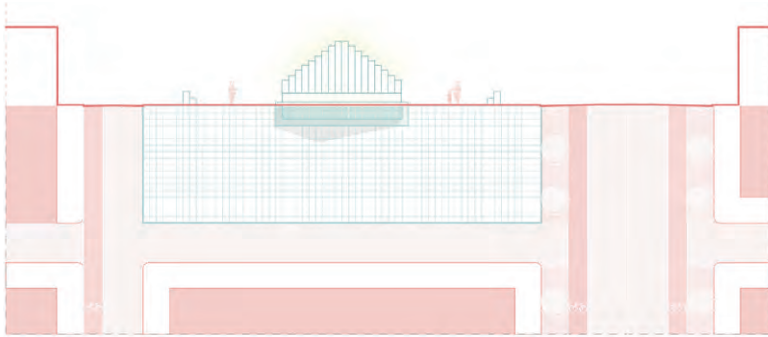
In this perspective, they were asked to design two different scenarios: one, responding to the actual pandemic situation where social distancing constitutes a strong design requirement; and one to cope with the presence of high winds, a very common and often unpleasant weather condition in the Netherlands (Fig. 5). The team consisted of different disciplines, which lead to a multi-perspective approach of the brief. For example, technology was not merely a design tool (that has been developed through physical maquettes, drawings and surveys) but also a possible means to influence and manage human behaviour in public space.

Pandemic resilience in public space | The pandemic scenario required to design of a spatial solution for the public space with the purposes of: a) allowing people to enjoy the public square by being Covid-19 safe; and, b) keeping the recommended distance. The young designers iterated on different design solutions, evaluating different kinds of interaction, to best suit the complexity of the space, through physical, virtual and interactive models (Fig. 6)⁹. To test and tease out the different possibilities, tests were built with different materials and through virtual interactive simulations.

A square was designed in concentric areas: on the edge and for a depth of ten meters, tiles are augmented with motion sensors and programmed to raise high, to allow people to sit. The ones that didn't serve for seating, would visually signal when people don't keep the recommended distance. Towards the centre of the square, on the other hand, the volumes generated by the tiles form a plinth, which makes it possible to visualise spatially and in real-time the number of hospitalizations registered by the Dutch National Institute for Public Health (Fig. 7-12). The lower the number, the brighter and less elevated the tiles will be; the higher the number, the less bright and more elevated they will be, to create a non-verbal conversation with the users of the square. Due to the involved complexity (physical, analogue, digital and virtual), the scope of the project is to provide users with an ever-changing experience and to present the square in a transformative aspect. Overall, a major challenge for the adaptive properties of the square was the inherent unpredictability of people in the movement. In the final design, an architecture of presence- and motion sensors was introduced to organise the human-cubes interaction.

Adaptivity for environmental stressors | A similar design was requested to focus on environmental stressors. With this aim, to represent environmental stressors, a very common, yet harmless condition of the Dutch environment was introduced to make the square adaptive to high winds. As in the first pandemic scenario, the square is made up of tiles able to move vertically and equipped with presence and movement sensors to ensure people a safe experience. At the same time, real-time weather data from The Royal Netherlands Meteorological Institute was added as an additional variable to manage the movement of the tiles up or down. In this way, as the intensity of the wind changes, whole blocks of tiles rise in sinuous shapes, creating private places to sit and gather, despite the presence of the environmental stress factor (Fig. 13, 14). In addition, this scenario offers different spatial configurations of the public square at different times and this would engage ad-hoc relations with the people around.

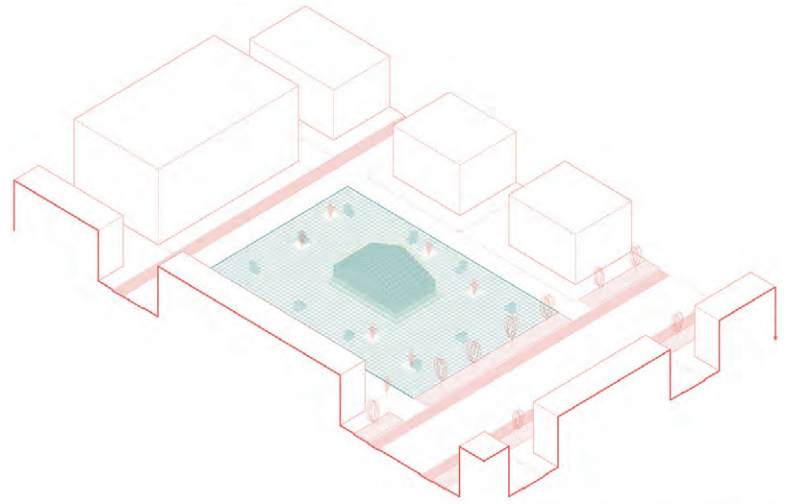
Limits and possibilities | The project of the group from the Master in Digital Design offered the op-



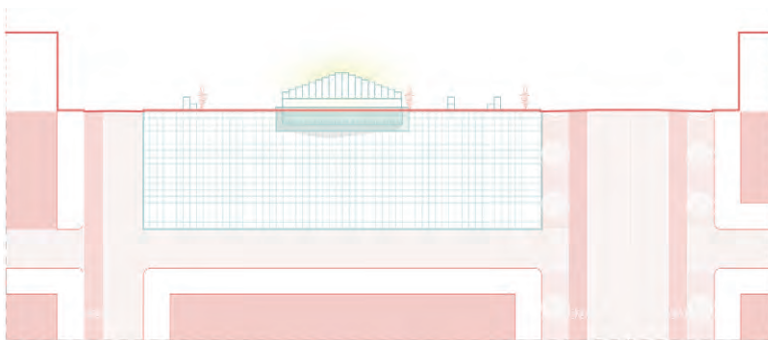
Scenario with a high number of hospitalization

Fig. 7 | Adaptive Architecture for Resilience, MDD, 2021. The first section of the series illustrating the difference between the three pandemic scenarios. The section shows the highest number of hospitalizations, a few seats and the least bright but the highest installation (credit: B. Andaloro).

Fig. 8 | Adaptive Architecture for Resilience, MDD, 2021: axonometry of the site in the pandemic scenario with the highest number of hospitalizations (credit: B. Andaloro).



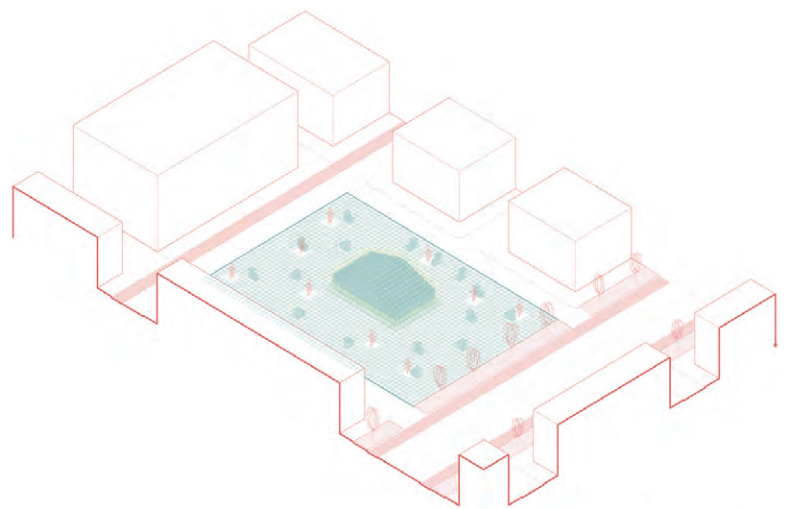
High number of hospitalization



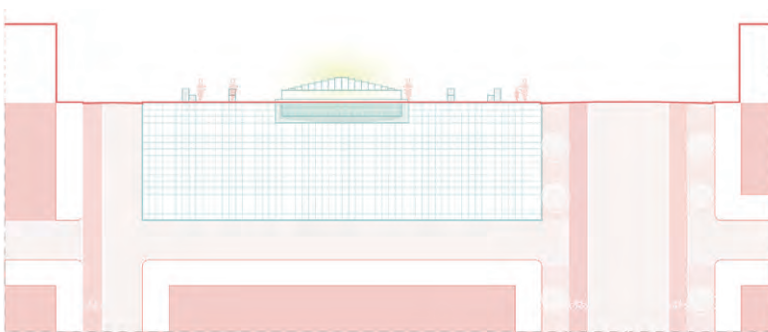
Scenario with a medium number of hospitalization

Fig. 9 | Adaptive Architecture for Resilience, MDD, 2021. The second section of the series illustrating the difference between the three pandemic scenarios. The section shows a medium number of hospitalizations, with lower brightness and fewer seats (credit: B. Andaloro).

Fig. 10 | Adaptive Architecture for Resilience, MDD, 2021: axonometry of the site in the pandemic scenario with a medium number of hospitalizations (credit: B. Andaloro).



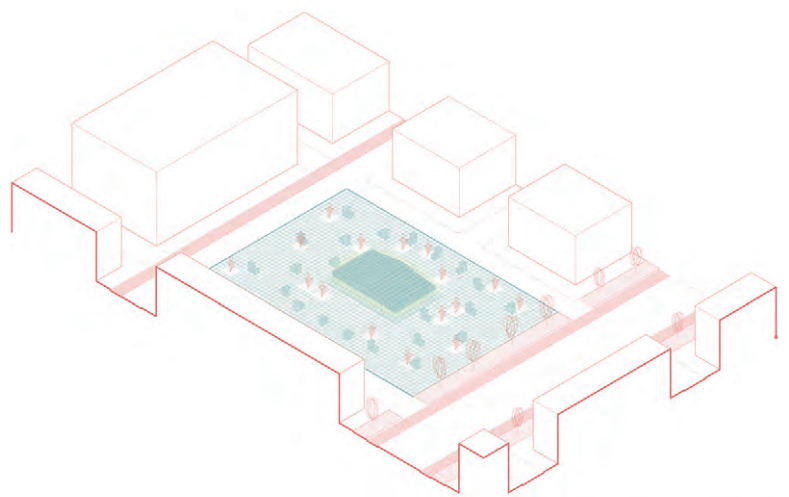
Medium number of hospitalization



Scenario with a low number of hospitalization

Fig. 11 | Adaptive Architecture for Resilience, MDD, 2021. The third section of the series illustrating the difference between the three pandemic scenarios. The section shows a low number of hospitalizations which allows more people to walk and sit on the square: the installation is at its brightest and more tiles rise to be sitting furniture (credit: B. Andaloro).

Fig. 12 | Adaptive Architecture for Resilience, MDD, 2021: axonometry of the site in the pandemic scenario with a low number of hospitalizations (credit: B. Andaloro).



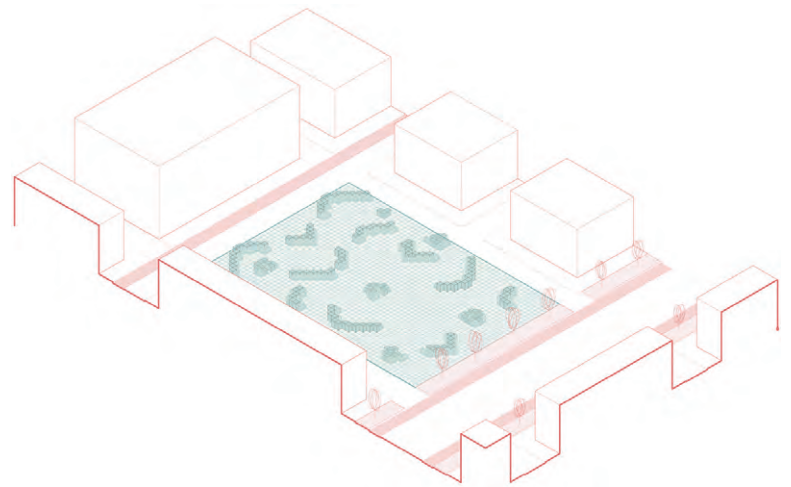
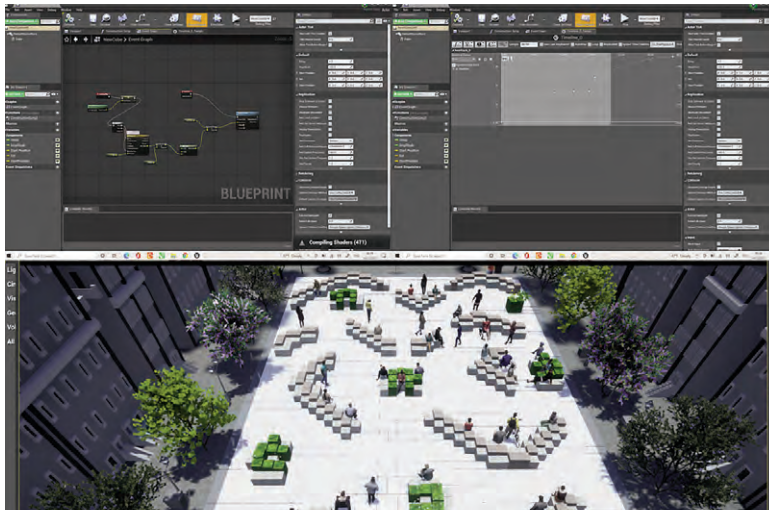
Low number of hospitalization

portunity to test and digitally prototype the adaptive approach in public space, exploring the limits and possibilities of such an application, through two scenarios differing in nature and character. From a design point of view, the choice of a modular system introduces the possibility of scaling up and defining variations of different spatial configurations. Though, many technical challenges came about too, like managing and updating the sen-

sors, the position and intertwining of the sensors and architecture¹⁰ and the actual spatial objects. The modularity of the design also has advantages, like minimising maintenance processes, costs and complexity. The further question to be asked is how such a modular system, at the scale of public space, can support a broader infrastructure, including sustainability and energy issues, through self-sufficient piezoelectric (Vigo Majello,

2020) or photovoltaic devices (Howarth, 2014).

The adaptivity of the system, willing to interface with people, requires a specific reflection upon their unpredictable behaviour. While during the hardest Covid lockdowns and restrictions people were more inclined and used to follow precise rules, it is true that generally and, specifically in public spaces, it is not easy to foresee each kind of movement. For this reason, an adaptive public



Wind scenario

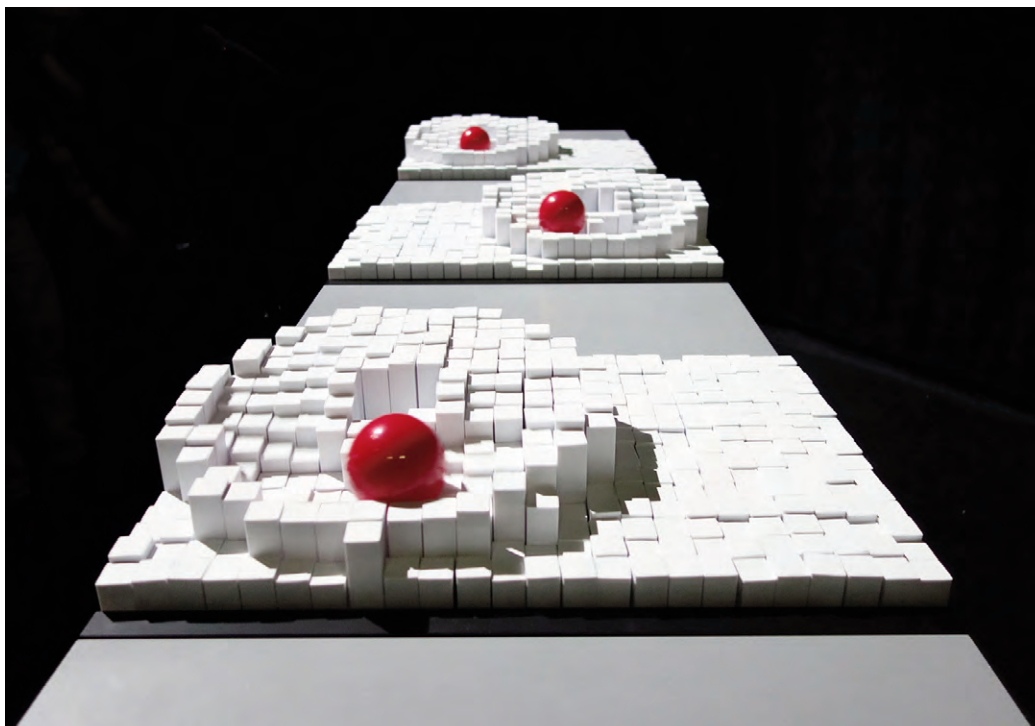


Fig. 13, 14 | Adaptive Architecture for Resilience, MDD, 2021: The design of the square in a 3D model and the scripting of the interaction between the elements, elaborated on Unreal Engine (source: masterdigitaldesign.com); Axonometry of the site in the wind scenario with the spatial re-configuration of the tiles (credit: B. Andaloro).

Fig. 15 | Transform, Tangible Media Lab, Lexus Design Amazing, Milan, 2014. The Tangible Media Group project explores the potentiality of an adaptive device whose technology could be applied also on a larger scale.

space that exploits responsive technologies would need to feed its control board with a pattern of information about people's behaviour, so to trigger prediction mechanisms.

Furthermore, the presence of responsive technologies also has an impact on the space design, contributing to human needs but also encouraging human interaction. This requires the designers to think of the project as an inter-scalar system where each component is designed for a specific position and role within a larger framework that defines its functioning. The relationship between different scales derives from the merging of resilient design and adaptive architecture, whether they are applied to the territorial, public space or building scale. In this way, to stimulate interactivity, physical and virtual matters are combined to allow people to experience different spaces at different

times, in a complex balance of micro and macro elements (Antonioni, 2019). Adaptivity and responsiveness also require a reflection on energy supply, safety, legal issues as well as endurance by constant weather and human influences of an outdoor installation¹¹. This shows the necessity for a multi-disciplinary process to produce the social fabric.

The latter considerations allow for a reflection on the design process itself: to be adaptive, a project should be designed to respond to an inter-scalar process, engaging an in-depth relationship between physical and immaterial matters. This process would ensure different time-based spatial configurations. Finally, adaptivity enriches data visualization through spatial configurations, resulting not only in communicating information to the users but rather attempting to influence human practices through urban shapes.

Conclusions | Adaptive Architecture for Resilience represents a pretext to evaluate the opportunities and possibilities of an adaptive approach in a public space through responsive technologies. The speculative design here proposed raises questions and dilemmas about the consequences of the application of responsive technologies to the public. In particular, it engages the correlation between technology as a design tool and the form-finding process, as well as several ethical questions involved in social practices; finally, it also raises the issue of uncertainty, demanding new possible approaches.

The design case explored shows that architecture is not only about the tangible and visible, but it is nowadays continuously enriched by digital, and intangible matters that create a layer of complexity at the service of social, and environmental benefit. The adaptive design approach contributes to strengthening the crucial role of the digital transition in architecture, addressing and affecting social and environmental benefit, and responding to the urge for digital innovability¹². It can be argued that the theme of resilience, at its different scales and in its different fields, is both abstract and concrete, and that adaptive architecture attempts to address it at an intermediate level where man and the environment are connected through the built environment.

As referred by Mikael Wiberg (2015), driven by the ultimate aim to ubiquitously integrate technology in space, architecture and computing, although they deal with different matters (the physical and the digital) seem destined to grow towards each other: the complexity of the built worlds is deeply intertwined with sensing technologies, which collaborate to all the design phases. In addition to that, by developing the already mentioned architectural characters of multi-scalarity, multi-materiality and multi temporality (Andaloro, 2021), the adaptive design approach adds a physical layer to the transformation of the built environment. By doing so, it also influences people's behaviour while addressing heterogeneous needs. For this reason, it can respond to several different demands of resilience, facing both environmental and social stressors, as the case study envisions.

Acknowledgements

This paper is the result of a shared reflection of the three authors. However, the paragraphs ‘Adaptiveness and responsiveness in public spaces’, ‘Pandemic resilience in public space’, ‘Adaptivity for environmental stressors’ and ‘Limits and possibilities’ have to be attributed to B. Andaloro.

Notes

1) In 2021 European Agenda, established the Europe Digital Decade (European Commission, 2021), promoting digital solutions with an emphasis on putting people first and sparking new opportunities. Underlying expectations are increased engagement with data, technology, and infrastructure, leading to promoting an open and democratic society, and enabling a dynamic and sustainable economy. In addition to the digital transition, the European Green Deal constitutes a roadmap for achieving the goal of a climate-neutral response by 2050. For more information see the webpage: ec.europa.eu/clima/eu-action/european-green-deal_en/ [Accessed 26 September 2022].

2) This includes, among others, the design of the horizontal street space, as well as the vertical and three-dimensional, meaning the street facades and the coherence between them, the layout and programming of the plinths, and the tactile qualities and rhythm of the buildings (Suurenbroek, Nio and de Waal, 2019).

3) The influence of the digital layer is not new in the discipline of architecture which in the last decades has profoundly changed. It affected the discipline by introducing new aspects of design language, such as new aesthetics and affordances, as well as new design tools, such as sensors and IoT to Smart Construction Objects, and new devices, exploited by interactive installations, screens and media facades. Their rapid evolution, and their small – or even mini – configuration, help embed these technologies in outdoor and indoor spaces, resulting in interactive and responsive installations or even landscapes (Cantrell and Holzman, 2015). This has envisioned in the last decades the possibility for architecture to establish a dialogue between the built space, men and the environment, thus between ethical and aesthetic aspects.

4) Adaptivity in architecture precedes the introduction of digital elements and electronic technology. Therefore, it can showcase different approaches and shapes. In contemporary literature, the term adaptive and the term responsive are often considered synonyms, attributing to adaptive designs the same computational capabilities as to responsive elements. However, in Elmokadem (2018) a classification of transformable architectures is shown, referring to Fox and Yeth’s (2000) definitions. This envisions a difference between adaptive and responsive approaches due to the ability of adaptive systems to implement change not only in real-time (like responsiveness) but by iterating it over time and about different circumstances.

5) Adaptivity as a design strategy to cope with environmental changes has been exploited in urban planning through strategies at the different climate zones. Some examples are the results of the first edition of Rebuild by Design, the competition on the regeneration of Manhattan after hurricane Sandy in 2012, and several projects by De Urbanisten such as the Bentheplein Square (2006-2010) in Rotterdam or the Water Square in Tiel (2014-2016) or by SLA as the Hans Tavsens and Korsgade Park in Copenhagen (2016-ongoing).

6) This approach, coined by Frayling (1993), has mainly been applied in the human-computer interaction field and only later extended to the different design fields, among which also architecture and urban design. It is usually adopted to address problems and practices that are new or not fully developed (Stappers and Giaccardi, 2017) by intertwining research phases with designs in a constant feedback loop.

7) The two-year research (2020-2022), coordinated by Martijn de Waal (Professor Play & Civic Media) and Frank Suurenbroek (Professor Bouwtransformatie), is granted by ZonMw and led by Wouter Meys, Project Manager at the Play & Civic Media lectorate. The multidisciplinary research group is made up of Boudewijn Boon, Giulia Gualtieri and Saba Schramkó. The research is supported by numerous interna-

tional parties, which constitute the academic experts’ consortium (among which, Harvard, UCL Bartlett and the University of Sydney) and the design consortium, made up of The Beach, UNStudio, Arcam, Rochdale and Eigen Haard.

8) Adaptive Architecture for Resilience project has been designed by an interdisciplinary team of young designers of the Master in Digital Design, Rachel Goldman, Mohammad Khaleghdar, Emma Koole and Olawale Olagoke, led by the already mentioned research group in collaboration with Bianca Andaloro (PhD Candidate, University of Palermo).

9) The interdisciplinarity of the team made it possible to approach the project from different perspectives, and through the dual function of digital as a means of verification (through real models, drawings and surveys), and control (through studies on human behaviour in public space). In addition, the team 3D printed the site, realizing models on a different scale of the 2,400 cubes that constitute the square. This is a twenty-by-thirty-meter rectangle, made up of tiles measuring 50 cm per side and able to move vertically above and below the pavement.

10) A similar system has been tested and built as a touchboard by the MIT Tangible Media Lab with the project Transform (Lexus Design Amazing, Milan, 2014; Fig. 15). This project explored the possibility of interaction between digital and physical interfaces through a spatial configuration that constitutes the imaginary reference for an adaptive public space.

11) Further evaluations on this topic have been shown in a previous and broader case study about the area of the ArenA Boulevard in Amsterdam which also shows the limits of using responsive technologies and intervening with people (Suurenbroek, Nio and de Waal, 2019).

12) Innovability[®] is a registered trademark of Enel SpA. All rights reserved by Enel SpA.

References

- Andaloro, B. (2021), “Relazioni spaziali per l’architettura interattiva – Il corpo fisico dell’informazione virtuale | The body of interactive architecture – Scenario-based and generative approaches”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 10, pp. 76-83. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1072021 [Accessed 26 September 2022].
- 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 26 September 2022].
- Cantrell, B. E. and Holzman, J. (2015), *Responsive landscapes – Strategies for responsive technologies in landscape architecture*, Routledge, New York. [Online] Available at: doi.org/10.4324/9781315757735/ [Accessed 26 September 2022].
- 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 26 September 2022].
- Howarth, D. (2014), “Daan Roosegaarde’s pilot Smart Highway is a Dutch road illuminated with solar power”, in *dezeen*, 21/10/2014. [Online] Available at: [dezeen.com/2014/10/21/daan-roosegaarde-glowing-lines-smart-highway-oss-netherlands/](https://www.dezeen.com/2014/10/21/daan-roosegaarde-glowing-lines-smart-highway-oss-netherlands/) [Accessed 26 September 2022].
- European Commission (2021), *Proposal for a Decision of the European Parliament and the Council the 2030 Policy Programme Path to the Digital Decade*, document 52021PC0574. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021PC0574 [Accessed 26 September 2022].
- Elmokadem, D. A., Ekram, D. M., Waseef, D. A. and Nashaat, B. (2018), “Kinetic Architecture – Concepts, History and Applications”, in *International Journal of Science and Research (IJSR)*, vol. 7, issue 4, pp. 750-758. [Online] Available at: [ijer.net/archive/v7i4/ART20181560.pdf](https://www.ijer.net/archive/v7i4/ART20181560.pdf) [Accessed 26 September 2022].

Fox, M. A. and Yeh, B. P. (2000), “Intelligent Kinetic Systems in Architecture”, in Nixon, P., Lacey, G. and Dobson, S. (eds), *Managing Interactions in Smart Environments*, Springer London, London, pp. 91-103. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-1-4471-0743-9_9 [Accessed 26 September 2022].

Frayling, C. (1993), *Research in Art and Design*, Research Papers, vol. 1, n. 1, Royal College of Art, London. [Online] Available at: researchonline.rca.ac.uk/384/3/frayling_research_in_art_and_design_1993.pdf [Accessed 26 September 2022].

Gehl, J. (2011), *Life Between Buildings – Using Public Space*, Island Press, Washington.

Gualtieri, G., Boon, B., Suurenbroek, F., de Waal, M., Andaloro, B. and Schramkó, S. (2022), “Challenges of the Covid-19 pandemic and design responses in public space – Towards strategies for resilient post-Covid cities”, in *Proceedings of the International Conference on Changing Cities V – Corfu Island, Greece, June 20-25, 2022*, pp. 980-989. [Online] Available at: researchgate.net/publication/361823595_Challenges_of_the_Covid-19_pandemic_and_design_responses_in_public_space_Towards_strategies_for_resilient_post-Covid_cities [Accessed 26 September 2022].

Hespanhol, L. (2018), “Making Meaningful Spaces – Strategies for Designing Enduring Digital”, in *Proceeding of SAAN – The first International Conference on Design, Innovation and Creativity*, 22-23 February 2018, Bangkok, pp. 108-117. [Online] Available at: researchgate.net/publication/334780244_Making_Meaningful_Spaces_Strategies_for_Designing_Enduring_Digital_Placemaking_Initiatives [Accessed 26 September 2022].

Jacobs, J. (1961), *The Death and Life of Great American Cities*, Random House, New York.

Kolarevic, B. and Parlac, V. (2015), *Building Dynamics – Exploring Architecture of Change*, Taylor & Francis, New York.

Pollo, R., Giovanardi, M. and Trane, M. (2021), “Smart construction object – Strumenti per riprogrammare la città | Smart construction object – Tools for reprogramming the city”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 10, pp. 84-91. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1082021 [Accessed 26 September 2022].

Stappers, P. J. and Giaccardi, E. (2017), “Research through Design”, in Soegaard, M. and Friis-Dam, R. (eds), *The Encyclopedia of Human-Computer Interaction*, Interaction Design Foundation, pp. 1-94.

Suurenbroek, F., Nio, I. and de Waal, M. (2019), *Responsive public spaces – Exploring the use of interactive technology in the design of public spaces*, Hogeschool van Amsterdam, Amsterdam. [Online] Available at: research.hva.nl/files/6298857/Responsive_Public_Spaces_AUAS_2019.pdf [Accessed 26 September 2022].

Ulber, M. and Mahall, M. (2019), “L’architettura adattiva come mediatrice fra gli uomini e la terra | Adaptive architecture as mediator between humans and earth”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 6, pp. 94-103. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/692019 [Accessed 26 September 2022].

Vigo Majello, M. C. (2020), “Piezoelectric flooring and public space”, in *SMC Magazine*, vol. 11, pp. 81-86. [Online] Available at: sustainablemediterraneanconstruction.eu/SMC/The_Magazine_n.11_files/1112.pdf [Accessed 26 September 2022].

Whyte, W. H. (1988), *City – Rediscovering the Center*, Doubleday, New York.

Wiberg, M. (2015), “Interaction Design Meets Architectural Thinking”, in *Interactions*, vol. 22, issue 2, pp. 60-63. [Online] Available at: doi.org/10.1145/2732936 [Accessed 26 September 2022].

Willis, K. S. and Aurigi, A. (2011), “Hybrid Spaces – Presence, Rhythms and Performativity”, in *Proceeding of Seventh International Conference on Intelligent Environments*, Nottingham, pp. 100-106. [Online] Available at: doi.org/10.1109/IE.2011.70 [Accessed 26 September 2022].

Yiannoudes, S. (2016), *Architecture and Adaptation – From Cybernetics to Tangible Computing*, Routledge, New York.

DAI NUMERI ALLE FORME

La transizione digitale nei processi morfogenetici

FROM NUMBERS TO FORMS

The digital turn in morphogenic processes

Michela Barosio, Rossella Gugliotta

ABSTRACT

La transizione digitale, o più precisamente il secondo Digital Turn, ha messo a disposizione del progetto architettonico e urbano sofisticati strumenti morfogenetici. Tali strumenti sono stati usati prevalentemente per la generazione di forme dalle geometrie non euclidee e la relativa integrazione dei sistemi costruttivi, anche dinamici. Il presente lavoro sonda invece la possibilità di usare gli strumenti parametrici per gestire le trasformazioni urbane sulla base di parametri formali e non meramente quantitativi, derivati dall'analisi morfologica della città esistente. Per fare questo sono stati individuati e analizzati tre strumenti (il tipo, il diagramma e il modello), capaci di tradurre le caratteristiche morfologiche urbane in elementi incorporabili ai processi parametrici indagandone le relative potenzialità e i possibili limiti anche attraverso due sperimentazioni pratiche.

The digital turn, or specifically the second Digital Turn, was at disposal of the architectural and urban project sophisticated morphogenic tools. These tools have been used mainly to create new forms with non-Euclidean geometries and their integration with building systems, also dynamic. This paper investigates the possibility of using parametric tools to handle urban transformations based on formal parameters and not merely quantitative ones, coming from the morphological analysis of the existent city. To this purpose, three tools have been identified and analysed (type, diagram and model), to translate the morphologic urban characteristics in elements embeddable into parametric processes, investigating their potential and possible limits also with two practical experimentations.

KEYWORDS

morfologia urbana, morfologie di transizione, design computazionale, morfogenesi, transizione digitale

urban morphology, transition morphologies, computational design, morphogenesis, digital transition

Michela Barosio, Architect and PhD, is an Associate Professor at the Department of Architecture and Design at Politecnico di Torino (Italy); she is a member of the Transitional Morphologies Joint Research Unit created by the Southeast University Nanjing (China) and Politecnico di Torino (Italy) and of the Education Academy of the European Association for Architectural Education (EAAE). Her research is focused on urban regeneration, urban morphology, computational design and pedagogy of architectural design. Mob. +39 340/498.93.28 | E-mail: michela.barosio@polito.it

Rossella Gugliotta, PhD Candidate at the Department of Architecture at Politecnico di Torino (Italy), is a member of the Transitional Morphologies Joint Research Unit created by the Southeast University Nanjing (China) and Politecnico di Torino (Italy). Her research is focused on the study of Italian urban morphology and, in particular, on the tools to represent the contemporary city on maps and diagrams. Mob. +39 320/429.76.39 | E-mail: rossella.gugliotta@polito.it



La crescente convergenza tra i concetti di innovazione e di sostenibilità ha portato allo sviluppo del concetto di innovability[®]1 prevalentemente nel campo delle scienze sociali ed economiche (De la Vega Hernández and Barcellos de Paula, 2020). Nel campo del progetto architettonico e urbano questi due concetti vengono invece, talvolta, visti come antitetici. Dal punto di vista dei temi del linguaggio architettonico, l'innovazione è infatti assimilata all'uso di forme e materiali da costruzione avveniristici, spesso tutt'altro che sostenibili sotto il profilo ambientale, mentre l'approccio sostenibile sembrerebbe orientarsi verso soluzioni tecniche più tradizionali e locali, quasi pauperistiche. La relazione tra i due termini cambia se invece di considerare il linguaggio del progetto si guarda al processo del progetto stesso (Giallocosta, 2019). Questo lavoro si propone quindi di indagare, all'interno dei processi morfogenetici a scala urbana, gli strumenti capaci di coniugare innovazione e sostenibilità attraverso la transizione digitale applicata ai processi di progetto.

La forma della città e dell'architettura sono influenzate dalla relazione tra tempo e spazio; questo rapporto ha subito dei cambiamenti andando a definire nuovi sistemi di riferimento, dalla concezione 'assoluta' di tempo e spazio (Newton) si è passati a quella 'relativa' (Einstein), fino a raggiungere quella 'interattiva' (McFadden), in cui a spazio e tempo si aggiungono le informazioni (Gausa and Vivaldi, 2021). La forma diventa attiva in quanto composta non solo dall'aspetto visibile del singolo oggetto, ma anche dalle relazioni tra le parti (Easterling, 2016). Lo stesso Goethe, nelle sue ricerche morfologiche del 1795, non si concentra sulla mera applicazione di regole metodologiche legate alla forma, ma ne esplicita i termini elastici e variabili e invita a pensare al concetto di forma come a qualcosa in continuo mutamento (Pinotti and Tedesco, 2013).

La nozione di forma comprende infatti due accezioni diverse: la prima è 'morphè', parola greca che indica la forma esterna delle cose, cioè visibile, concreta; la seconda è 'eidos' e indica la forma interna delle cose, quella invisibile (Chiodo, 2011) di cui fanno parte le caratteristiche e le relazioni che la compongono. La forma qui viene intesa come il risultato del processo progettuale e delle interazioni tra il programma e gli attori del processo come descritto da Christopher Alexander (1964) su Note sulla Sintesi della Forma in cui mette in evidenza che la crescente complessità delle forme architettoniche e urbane richieda strutture logiche rigorose per essere rappresentata. Di tale entità complessa, dotata di dinamismo intrinseco oltre che estrinseco (Triscioglio et alii, 2021), è possibile studiare la genesi e l'evoluzione, attraverso l'esplicitazione della sua configurazione logica.

In una visione multiscale della città e dell'architettura come sistemi di informazioni, dinamici e in transizione, la logica diagrammatica, punto di partenza dell'approccio digitale (Barosio and Gugliotta, 2020) rappresenta quindi uno strumento capace se non di controllare, almeno di orientare, i processi generativi e poi rigenerativi della città stessa. L'ignoto viene così prefigurato attraverso la manipolazione delle tecniche utilizzate per rappresentare ciò che è noto (Terzidis, 2015). In questa prospettiva Mario Carpo (2017) afferma che Leon Battista Alberti è stato il primo

'digital architect' perché ha utilizzato un codice numerico per rappresentare la sua *Descriptio Urbis Romae* (Allen, 2009). Alberti ha inserito la rappresentazione della città in uno spazio topologico assimilabile allo spazio diagrammatico che rappresenta un momento operativo della trasformazione (Gasperoni and Gretsche, 2022) in cui la traduzione tra dati e immagine avviene attraverso l'attribuzione di parametri.

Se già nella seconda metà del XX secolo Alexander (1964) intuiva che occorresse riconoscere che siamo alla vigilia di un'era in cui l'uomo sarà in grado di potenziare le sue facoltà intellettuali e inventive, proprio come nel XIX secolo egli aumentò le sue facoltà fisiche con l'uso delle macchine, proponendo l'uso di variabili binarie e il concetto di 'corretta corrispondenza' come strumenti del processo di progetto, occorre oggi compiere un ulteriore passo nella esplicitazione del processo logico di progetto incorporandovi variabili (o parametri) formali e non più solo, meramente, quantitativi.

A partire dal riconoscimento del ruolo dei tipi, dei diagrammi e dei modelli nella generazione e nell'evoluzione della forma urbana, il presente contributo si propone quindi di indagare la possibilità di assumere queste tre categorie come canoni da incorporare in un processo di progettazione parametrica. L'approccio parametrico è oggi pienamente riconosciuto nel campo del progetto urbano per le sue potenzialità nella gestione delle variabili quantitative, prevalentemente legate ai temi del cambiamento climatico (Bassolino and Ambrosini, 2016) o ai temi della densità, mentre l'uso di parametri di natura morfologica è poco praticato e quasi sempre limitato a ripetizioni di pattern precostituiti.

L'originalità del percorso di progetto qui delineato sta invece nell'ipotizzare di sfruttare le potenzialità dell'approccio parametrico per gestire la transizione morfologica e la generazione delle forme urbane, basandosi su archetipi e relazioni formali elaborate dai progettisti. Il contributo proposto si articola secondo tre punti principali volti a esplorare, prima il ruolo che tipi urbani, diagrammi e modelli hanno nei processi di morfogenesi della città, e poi a sondare le possibilità e le modalità per introdurre questi parametri formali e spaziali come componente del processo parametrico di progettazione o rigenerazione della città.

Stato dell'arte | Il passaggio da parametri meramente quantitativi tipici dell'approccio morfometrico (Dibble, et alii, 2017; Fleischmann, Romice and Porta, 2020; Berghauer Pont and Haupt, 2021), fino ad oggi unica base del design computazionale, a parametri di forma e quindi la loro traduzione attraverso il linguaggio numerico capace di dialogare con lo strumento computazionale, è una delle questioni aperte nel dibattito emergente sui 'generative urban design concepts and methods' (Al Qeisi and Al-Alwan, 2021). Congiuntamente, se lo studio della genesi della forma è considerato un campo prolifico per la sperimentazione sui processi computazionali e di deep learning (Cai et alii, 2021), la continua ricerca di parametri numerici capaci di rappresentare caratteri formali può portare alla riduzione della complessità della morfologia come campo di studio e di intervento (Witt, 2016).

Sembrano comunque promettenti gli studi che permettono un riconoscimento automatico delle forme urbane (Peeters and Yoram, 2012; Fig. 1). Queste tecniche di identificazione di elementi tipologici forniscono una base per gli studi più recenti sulle morfologie transizionali della città (Triscioglio et alii, 2021; Figg. 2, 3), permettendo così di lavorare alla messa a punto di nuovi strumenti per il progetto urbano contemporaneo. Diventa così possibile cogliere le dinamiche evolutive, ma anche prefigurare possibili trasformazioni future della città attraverso la permutazione e la deformazione dei tipi urbani, quindi di parametri formali. Queste ricerche, basandosi su un sistema logico-qualitativo, introducono, all'interno degli studi sulla forma, un principio logico riconducibile a codici e principi genetici (Gausa and Vivaldi, 2021).

Il dibattito morfologico sulla genesi della forma urbana può essere descritto attraverso tre oggetti di analisi che sono anche strumenti di progetto in grado di sintetizzare e restituire le componenti essenziali: il tipo, il diagramma e il modello. La serie di studi sulla forma urbana iniziati da Saverio Muratori (1959), e portati avanti da Gianfranco Caniggia (Caniggia and Maffei, 1979) attraverso la definizione del tipo come 'sintesi a priori' dell'organismo architettonico e urbano, danno l'avvio a un uso del tipo non solo analitico ma progettuale, 'operativo'. L'identificazione del tipo e delle caratteristiche formali che lo accompagnano si prefigura come una prima visione diagrammatica delle trasformazioni urbane. Il diagramma verrà poi identificato e teorizzato, negli stessi anni del dibattito sulla scientificità dell'urbanistica, da Christopher Alexander (1964) con la sistematizzazione di un metodo diagrammatico per la definizione della componente formale del progetto in grado di lavorare con pattern e relazioni tra gli oggetti e le parti della città.

Infine il modello, sovrapponibile sia al tipo che al diagramma, inteso come rappresentazione astratta di uno spazio fisico in uno virtuale, si pone come risultato di un sistema di regole e simboli in grado di descrivere e controllare un fenomeno o una realtà ancora in divenire (Terzidis, 2015). Tipo, diagramma e modello, in questi diversi studi, sono considerati strumenti di progettazione e non solo di analisi. Il ruolo morfogenetico e non solo analitico del tipo, del diagramma e del modello nel progetto urbano è il portato più rilevante introdotto da questi studi che indagano la logica della forma. La prospettiva contemporanea di evoluzione di questi studi consiste nel servirsi dell'esplicitazione logica dei processi di morfogenesi per implementare i processi di progettazione computazionale e parametrica per le trasformazioni urbane.

Metodo | La transizione in atto nel processo del progetto urbano da analogico a digitale si sviluppa essenzialmente seguendo due diverse metodologie. La prima metodologia prevede la generazione di nuove forme a partire dall'esplicitazione di regole e canoni compositivi capaci di tradurre gli obiettivi del progetto. La seconda metodologia prevede invece la generazione di un insieme di varianti di forme basate sulla corrispondenza con set di dati/esempi paradigmatici.

Nel quadro dell'attività di ricerca della Joint Research Unit Transitional Morphologies, coordinata dai Professori Li Bao e Marco Triscioglio, istituita congiuntamente dal Politecnico di Torino

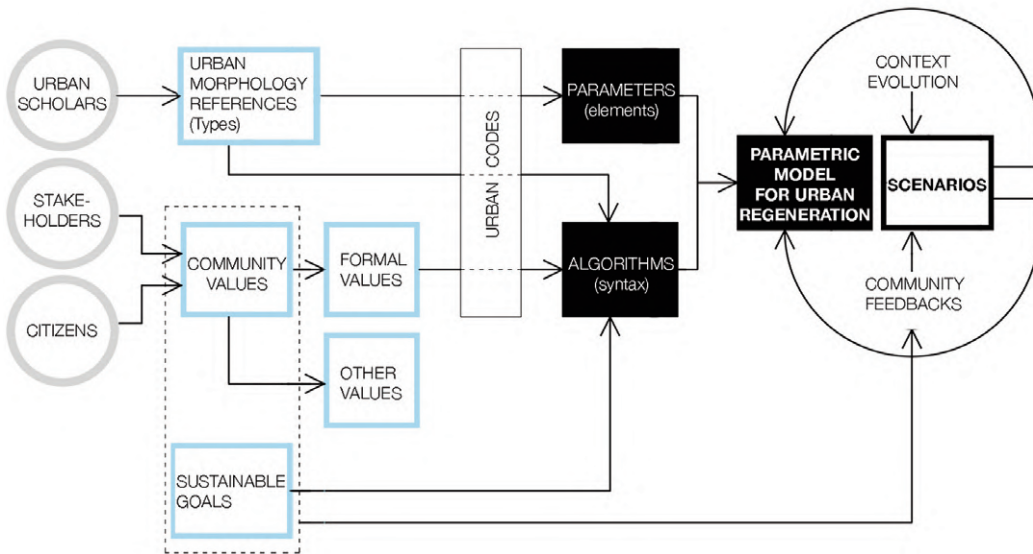
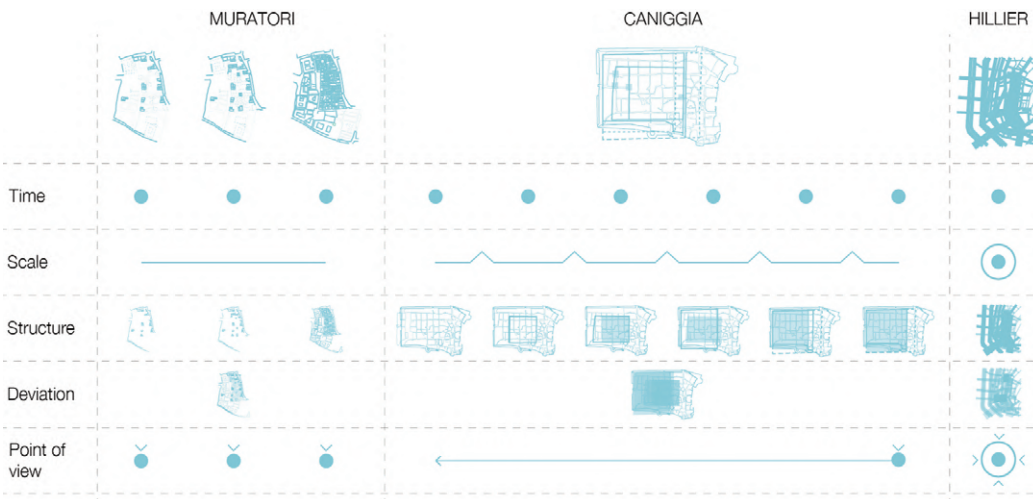
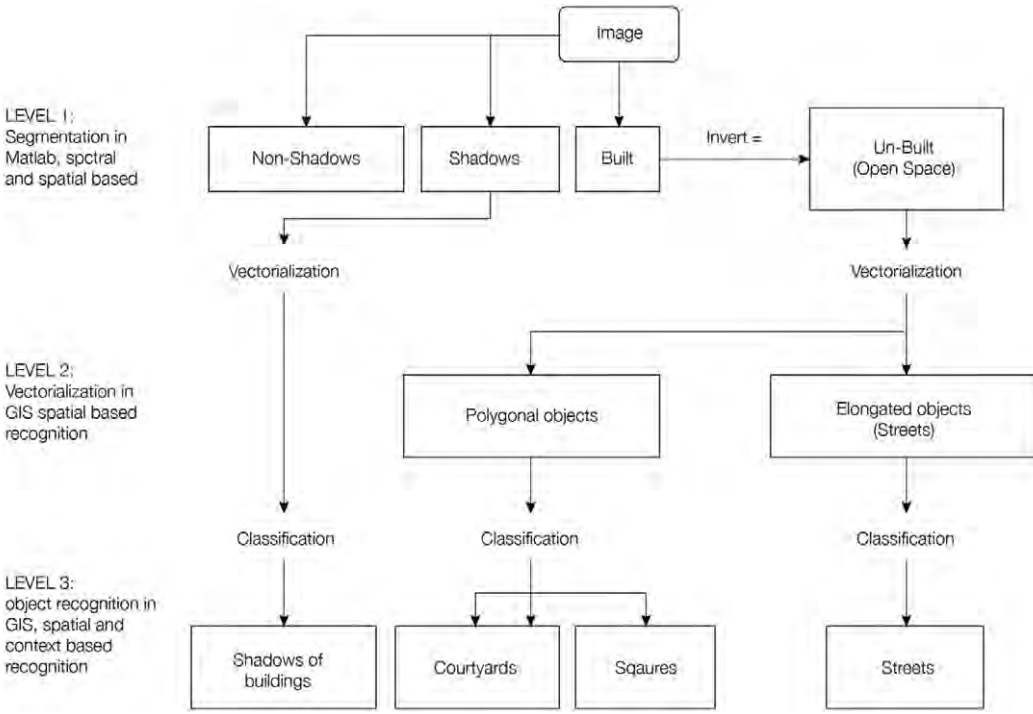


Fig. 1 | Method scheme to automatically recognise urban forms (source: Peeters and Yoram, 2012).

Fig. 2 | Study of evolutionary trends in the transitional city (source: Trisciuglio et alii, 2021).

Fig. 3 | Study of formal parameters for a generative parametric model of the urban form (source: Trisciuglio et alii, 2021).

e dalla Southeast University Nanjing (Cina) nel 2018, sono state condotte sperimentazioni puntuali utilizzando entrambe le metodologie. Si è quindi scelto di adottare un approccio abduktivo alla ricerca, nel senso promosso da Charles Sanders Peirce (cit. in Hartshorne, Weiss and Burks, 1931-1958), partendo da risultati puntuali, considerati paradigmatici, per definire temi e criticità più generali da affrontare in future ricerche. La scelta della metodologia utilizzata nei singoli casi studio è dipesa da diversi fattori quali, la scala di progetto e i tipi di requisiti del progetto, nonché dal contesto istituzionale della sperimentazione.

Una prima sperimentazione², condotta nell'ambito della terza missione, ha avuto come obiettivo la generazione automatica di layout di palestre corrispondenti a precisi requisiti funzionali e percettivi definiti dalla committenza. In questo caso il metodo adottato è quindi consistito nella realizzazione di un ricco database di immagini, rappresentanti il tipo funzionale della palestra, il quale, attraverso un modello generativo image-based (Para et alii, 2021) ha prodotto un cluster di soluzioni (Fig. 4).

Una seconda sperimentazione³ invece, di natura più speculativa, resa possibile dai finanziamenti alla internazionalizzazione ricevuti per progetti congiunti dal Politecnico di Torino (2017-2020) e dalla Southeast University (2018-2019), ha lavorato sulla possibilità di generare forme urbane a partire da diagrammi e regole che interpretano e rielaborano tipi urbani precedentemente identificati per nuove proposte progettuali a livello planivolumetrico nei processi di rigenerazione urbana. Questo tema è stato sviluppato attraverso sperimentazioni progettuali collettive sul tema dell'abitare di emergenza e sulle relative esigenze di flessibilità e di rapida riconfigurazione delle proposte progettuali anche a scala urbana (Figg. 5-7).

La ricerca, ancora in fase iniziale, non mira a costituire una metodologia univoca per integrare dati formali e spaziali nei processi di progettazione parametrica e computazionale della città, ma piuttosto a sviluppare le potenzialità del Parametric Design Thinking (Oxman, 2017) come strumento per il progetto urbano. Le diverse sperimentazioni hanno rapidamente messo in evidenza il limite, almeno apparente, di questo tipo di approccio che, non potendo incorporare tutti i requisiti che costituiscono il programma di progetto, alcuni dei quali sono addirittura impossibili da esplicitare, produce come esito un insieme di soluzioni possibili e non una soluzione univoca.

A valle di questo cluster di soluzioni occorre quindi l'intervento del progettista per selezionare la soluzione più appropriata. L'obiettivo finale della ricerca è quindi quello di potenziare il processo di progetto attraverso la traduzione di requisiti formali in canoni basati su tipi, diagrammi e modelli che permettano di renderli elementi del linguaggio computazionale. Le sperimentazioni condotte finora in questo senso sono circoscritte ai tipi urbani della città europea consolidata e sono state sviluppate in modo non sistematico, ma mirato a far emergere le potenzialità e le criticità di una ricerca scientifica in tal senso.

Il tipo come sintesi della forma | Il concetto di tipo in architettura, considerato talvolta come oggetto statico risultato di un insieme di regole, è

descritto già da Gianfranco Caniggia nel 1979 attraverso la 'deformità del tipo' e le 'devianze' prefigurandone la dinamicità e la capacità trasformativa in virtù del progetto (Caniggia and Maffei, 1979; Fig. 8). Il concetto di tipo si inserisce sempre di più all'interno del dibattito contemporaneo dell'informatizzazione dei processi di progetto. La ricerca tipologica e morfologica, nell'ottica della progettazione computazionale basata su una progettazione algoritmica-matematica, introduce la complessità del manufatto architettonico attraverso il concetto di genotipo; questo sintetizza al suo interno parametri formali e funzionali (Ventura, 2015).

Il ruolo del tipo nel processo morfogenetico come sintesi della forma è quindi quello di mettere in evidenza delle invarianti nella configurazione dello spazio, ma anche di delineare l'evoluzione della morfologia urbana attraverso la prefigurazione di una molteplicità di soluzioni (Trisciuglio, 2020; Fig. 9). È oggi possibile 'insegnare' a una macchina a riconoscere queste invarianti attraverso la creazione di database di esempi contenenti le invarianti stesse. Successivamente lo strumento computazionale sarà in grado di generare un insieme di soluzioni corrispondenti a queste invarianti. Quest'uso del tipo all'interno del processo computazionale può essere applicato sia a tipi funzionali sia a tipi morfologici e richiede una preventiva elaborazione di un dataset con un numero di esemplari sufficientemente alto per rappresentare la varietà e la complessità del tipo in oggetto (Hu et alii, 2020).

Il diagramma come esplicitazione delle relazioni tra gli elementi formali

Negli ultimi decenni, da Eisenman in poi, il diagramma si è sviluppato come mezzo generativo all'interno del processo di progettazione architettonica (Gleiter and Gasperoni, 2019), non solo computazionale. La definizione deriva dalla distinzione che Eisenman (1999) fa all'interno del libro *Diagram Diaries* in cui, oltre che la funzione analitica del diagramma, viene riconosciuta quella generativa in grado di fornire all'architettura nuovi significati con l'obiettivo di trasformare l'oggetto di progetto. Da ciò deriva che il diagramma generativo non è solo esplicitativo, ma permette di definire e interpretare la componente nascosta e latente del progetto. Nello specifico, nel processo morfogenetico, il diagramma si propone come strumento utile all'esplicitazione delle relazioni tra gli elementi che compongono il tutto (Stjernfelt, 2007).

Riconoscere le strutture logiche che governano il processo progettuale e i problemi della progettazione porta a quella che Alexander (1964) ha definito come la 'perdita dell'innocenza' in cui a ogni decisione progettuale a livello formale viene riconosciuto uno specifico peso (Fig. 10): attraverso il diagramma è possibile quindi definire azioni, relazioni e dinamiche del processo di formazione. In particolare, nell'ottica dell'utilizzo del diagramma nel processo morfogenetico, emerge la sua centralità come mezzo di trasformazione e generazione di nuove forme dell'immaginario della progettazione architettonica traducendo informazioni e dati in forme (Gleiter and Gasperoni, 2019).

Il diagramma può essere descritto come la reiterazione di un processo deduttivo che, attraverso una costruzione per ipotesi ed errori, porta alla definizione di un nuovo immaginario (Stjernfelt,

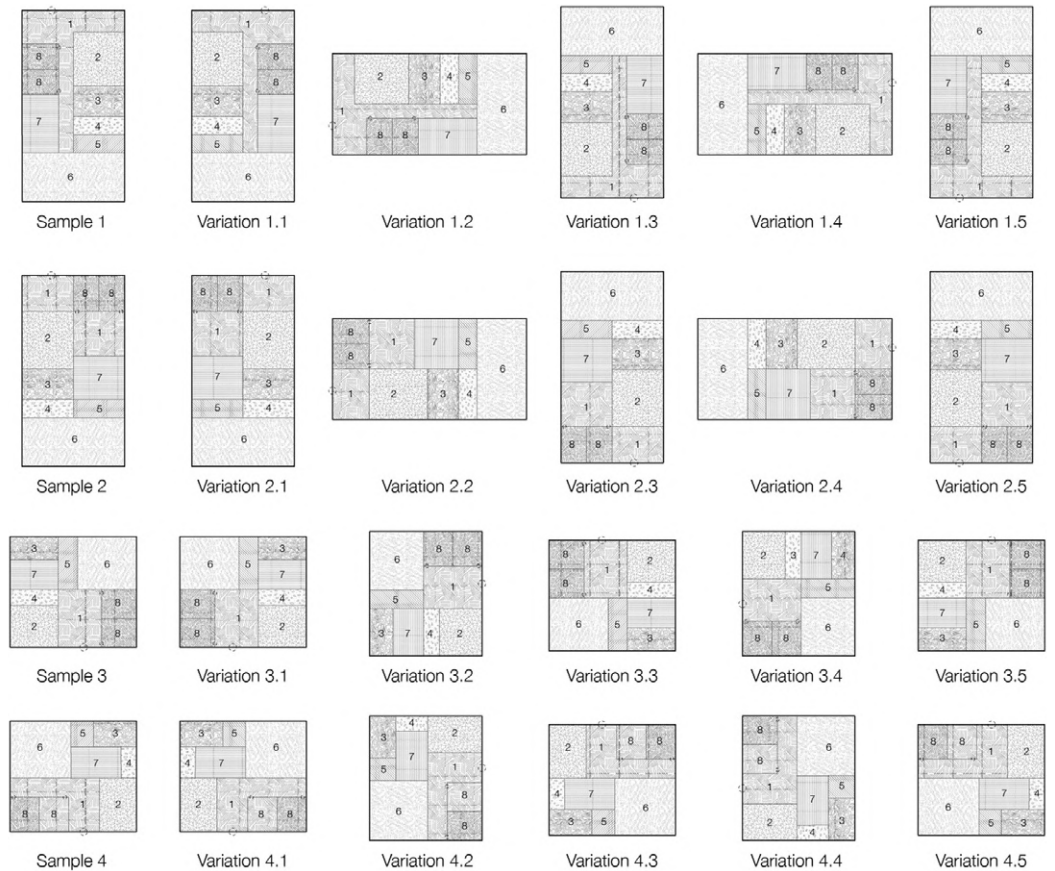


Fig. 4 | Database of function types for the image-based generative process: 1. Hall; 2. Cardio area; 3. Lightweights area; 4. Stretching area; 5. Functional training area; 6. Resistance machines area; 7. Weights area; 8. Facilities (credit: M. Barosio and R. Gugliotta, 2022).

2007) di forme architettoniche. Il ruolo preposto del diagramma nel processo morfogenetico è nell'esplicitazione delle relazioni tra gli elementi formali, ma anche nelle relazioni all'interno degli stessi elementi per generare nuove forme e oltrepassare la visione statica della genesi della forma (Armando and Durbiano, 2019). Il ruolo del diagramma diventa quindi fondamentale nella progettazione algoritmica, cioè in quella declinazione del progetto computazionale che genera nuove forme a partire da regole, prevalentemente matematiche (Caetano, Santos and Leitão, 2020).

Il modello come base di dati di riferimento

Il modello è qui inteso come il prodotto di una simulazione digitale dei dati di natura diversa che nel progetto confluiscono. Il modello virtuale così ottenuto permette al progettista, ma anche ai non addetti ai lavori, di 'vedere', valutare e quindi di intervenire sui risultati spaziali del processo di progetto. Nel processo computazionale gli input di progetto non sono più considerazioni implicite nella mente del progettista, ma diventano dati espliciti e traducibili in input elettronici che entrano nel processo di progettazione e vengono gestiti dal progettista (Ventura, 2015); entrano a far parte di un modello virtuale, di simulazione, in grado di descrivere fenomeni reali con lo scopo di variare e manipolare i parametri e quindi sviluppare nuovi e successivi scenari di progettazione (Terzidis, 2015).

Il modello digitale è il trait-de-union tra il linguaggio numerico interfacciabile con il calcolare e il carattere visivo di immediata comprensione per il progettista. La relazione algoritmica tra il modello digitale e i parametri di progetto permette la

sua modifica in tempo reale da parte del progettista attraverso operazioni a lui proprie (scalatura, permutazione, deformazione) e il contemporaneo controllo dei parametri quantitativi associati al progetto (Calvano, 2015).

Conclusioni | L'approccio generativo alla progettazione non prevede un unico risultato, ma la produzione di soluzioni definite all'interno di quello che DeLanda (2016) chiama 'spazio delle possibilità'. La progettazione conduce a un processo generativo della forma che non è più unico e imprescindibile, ma che si rispecchia in molteplici configurazioni (Ventura, 2015). Il Parametric Design Thinking, definito come processo associativo di concetti geometrici (Woodbury, 2010), si avvale di un'interfaccia che permette di visualizzare la struttura algoritmica del processo ideativo. Il tentativo di incorporare in questo processo non solo dati quantitativi (dimensionali, prestazionali, normativi), ma anche canoni formali, pone il problema di come tradurre questi dati morfologici e come scomporre e riarticolare di conseguenza il processo di progetto. Questa scomposizione del progetto permetterà infine di ridiscutere l'azione del progettista all'interno del processo (Armando and Durbiano, 2017) e la sua relazione con gli strumenti computazionali.

L'ipotesi qui delineata è quindi che una dimensione fondamentale dell'attuale transizione digitale sia la traduzione dei caratteri morfologici della città attraverso strumenti di astrazione capaci di dialogare con il linguaggio computazionale. A tal fine il paper propone l'uso del tipo, del diagramma e del modello affidando a ciascuno

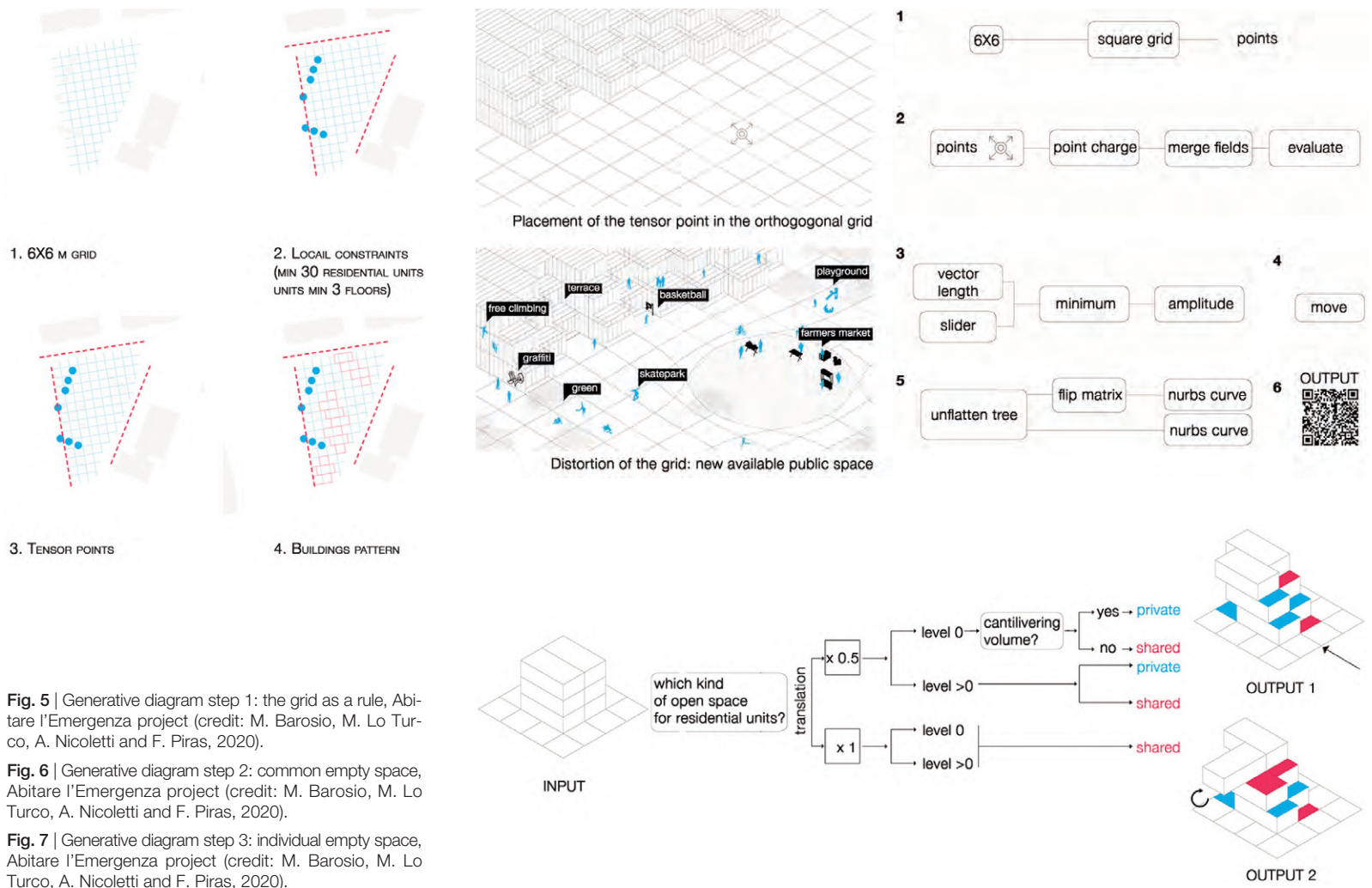


Fig. 5 | Generative diagram step 1: the grid as a rule, Abitare l’Emergenza project (credit: M. Barosio, M. Lo Turco, A. Nicoletti and F. Piras, 2020).

Fig. 6 | Generative diagram step 2: common empty space, Abitare l’Emergenza project (credit: M. Barosio, M. Lo Turco, A. Nicoletti and F. Piras, 2020).

Fig. 7 | Generative diagram step 3: individual empty space, Abitare l’Emergenza project (credit: M. Barosio, M. Lo Turco, A. Nicoletti and F. Piras, 2020).

una specifica valenza (Fig. 11) nell’integrare elementi morfologici al processo parametrico di generazione delle forme urbane. In questo ragionamento il tipo è visto come l’elemento capace di sintetizzare le invarianti della forma urbana e di tradurle in schemi potenzialmente integrabili alla logica algoritmica. Il secondo strumento proposto è il diagramma, utile a mettere in evidenza le relazioni tra le parti che caratterizzano la morfologia urbana e quindi indispensabile alla scrittura dei codici su cui si basa il progetto parametrico; infine il modello come strumento di simulazione fondamentale nell’innescare il processo di revisione e di feedback che caratterizza la circolarità e la iteratività dell’approccio parametrico.

Ognuno di questi tre strumenti – il tipo, il diagramma e il modello – porta con sé dei rischi per il processo di progetto. Così l’uso del tipo come sintesi della forma può portare a una eccessiva fissità delle forme prese in considerazione, mentre il ruolo del diagramma nell’esplicitare le relazioni tra gli elementi formali può portare a un livello di estrazione eccessivo e a un progressivo allontanamento delle peculiarità del contesto, imboccando così la direzione di una morfogenesi autoreferenziale, mentre l’uso dei modelli come verifica interattiva delle soluzioni di progetto può generare una illusoria sensazione di controllo sulla soluzione finale.

L’apparente limite di questo approccio nel suo complesso – cioè l’incapacità di individuare una soluzione unica e ottimale – costituisce però anche la sua maggiore potenzialità: la molteplicità

di soluzioni proposte e configurate dai processi di progettazione computazionale permette di stimolare il pensiero progettuale al di fuori degli schemi derivanti da un approccio classificatorio (Fig. 12). L’esortazione di Mario Carpo (2017) ‘search don’t sort’ – che invita a rifuggire dalle tassonomie per esplorare universi di soluzioni illimitati – potrebbe allora essere trasformata in ‘search then sort’, enfatizzando le potenzialità dell’approccio.

The increasing convergence between innovation and sustainability has led to the development of the concept of innovability^{®1}, mainly in the field of social and economic sciences (De la Vega Hernández and Barcellos de Paula, 2020). In architectural and urban projects these concepts are sometimes seen as opposed. Regarding the architectural language subjects, innovation is assimilated to the use of futuristic shapes and building materials, often far from being sustainable for the environment, while the sustainable approach seems to steer towards more traditional and local, almost minimalist, techniques. The connection between the two terms changes when we consider the process of the project instead of its language (Giallocosta, 2019). This paper wants to investigate, within morphogenetic processes at an urban scale, the tools able to connect innovation and sustainability through the digital turn applied to project processes.

The shapes of the city and architecture are in-

fluenced by the connection between space and time. This connection has endured some changes, defining new reference systems: from the ‘absolute’ concept of space and time (Newton) to the ‘relative’ one (Einstein), up to the ‘interactive’ one (McFadden), in which information joins space and time (Gausa and Vivaldi, 2021). The form becomes active since it is made up of the visible aspect of the single object, but also of the connections between the parts (Easterling, 2016). Goethe, in his morphologic research carried out in 1795, did not focus on the simple implementation of methodological rules linked to the shape, but called upon its elastic and variable terms; he exhorted to imagine the concept of form as ever-changing (Pinotti and Tedesco, 2013).

In fact, the concept of form includes two different aspects: the first is ‘morphè’, a Greek word referring to the external form of things, visible, tangible; the second is ‘eidos’ which refers to the internal form of things, the invisible one (Chiodo, 2011), including its characteristics and relations. The form is intended as a result of the design process and of the interactions between the program and the actors of the process as described by Christopher Alexander (1964) in Notes on the Synthesis of Form where he highlighted the need for rigorous logical structures to represent the increasing complexity of architectonic forms. It is possible to study the creation and evolution of this complex entity, with an innate and extrinsic dynamism (Trisciungio et alii, 2021), by expressing its logical structure.

In a multiscalar vision of the city and architecture as dynamic and in transition information systems, the diagrammatic logic, starting point of the digital approach (Barosio and Gugliotta, 2020) is a tool capable of guiding generative, and then regenerative, processes of the city. The unknown is imagined through the manipulation of the techniques used to represent well-known situations (Terzidis, 2015). In this perspective, Mario Carpo (2017) stated that Leon Battista Alberti was the first 'digital architect' because he used a numeric code to represent his *Descriptio Urbis Romae* (Allen, 2009). Alberti has added the representation of the city in a topological space, comparable to the diagrammatic space representing an operational moment of transformation (Gasperoni and Gretschi, 2022) in which the transfer of data in images occurs with the attribution of parameters.

In the second half of the 20th century, Alexander (1964) understood that it was necessary to acknowledge that we are on the brink of times when humans may be able to magnify their intellectual and inventive capability. Just as in the 19th century they increased their physical abilities by using machines proposing the use of binary variables and the concept of 'rightful matching' as tools of the project process, today we have to make a step forward in explaining the logical design process by incorporating formal and no longer merely quantitative variables (or parameters).

Starting from recognising the role of types, diagrams and models in the generation and evolution of the urban form, this paper wants to analyse the possibility to consider these three categories as standards to include in a parametric design process. Today, the parametric approach is fully recognised in the project field for its potential in handling quantitative variables, mainly concerning climate change (Bassolino and Ambrosini, 2016) or density subjects, while the use of morphologic parameters is less common and generally limited to the repetition of pre-established patterns.

The uniqueness of the project path here described is the hypothesis to exploit the potential of the parametric approach to handle the morphologic turn and the generation of urban forms, based on archetypes and formal relations processed by designers. The paper is structured in three main points aimed to explore, first the role urban types, diagrams and models have in the morphogenesis of the city and then the possibility and ways to add these formal and spatial parameters as components of the design or regeneration parametric process of the city.

State of the art | Shifting from purely quantitative parameters typical of the morphometric approach (Dibble, et alii, 2017; Fleischmann, Romice and Porta, 2020; Berghauer Pont and Haupt, 2021), currently, the only base of computational design, to form parameters, hence their translation into a numerical language capable of connecting with the computational tool is one of the questions of the emerging debate on 'generative urban design concepts and methods' (Al Qeisi and Al-Alwan, 2021). Studying the genesis of the form is considered a prolific field for experimentation on the computational and deep learning processes (Cai et alii, 2021). At the same time, the ongoing research of numeric parameters capable of representing formal aspects can lead to considering

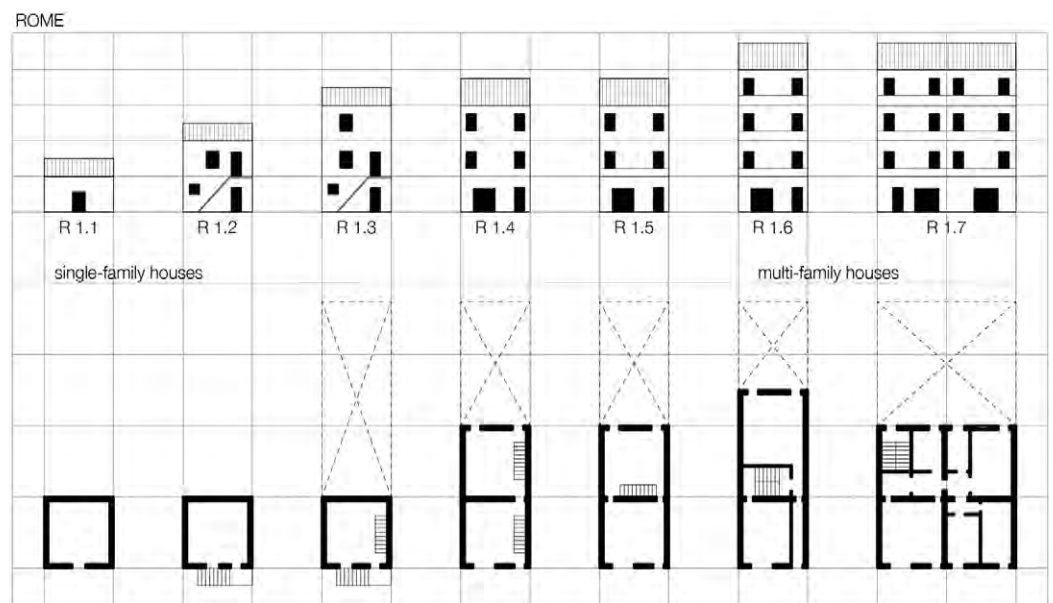
the morphology complexity only as a study and intervention field (Witt, 2016).

However, the studies allowing to automatically recognise urban forms seem promising (Peeters and Yoram, 2012; Fig. 1). These identification techniques of typological elements provide a base for recent studies on transitional morphologies of the city (Trisciuglio et alii, 2021; Figg. 2, 3), allowing to work on the setup of new tools for the contemporary urban project. Therefore, it is possible to grasp evolution trends, but also anticipate possible future transformations of the city by permuting and deforming urban types, hence, of formal parameters. These pieces of research, based on a logic-quantitative system, introduce, within the studies on the form, a logical principle attributable to genetic codes and rules (Gausa and Vivaldi, 2021).

The morphological debate on the genesis of the urban form can be described through three objects of analysis that are also project tools capable of summarising and restoring its essential components: type, diagram and model. The series of studies of the urban form started by Savio Muratori (1959) and carried on by Gianfranco Caniggia (Caniggia and Maffei, 1979), defining the

type as 'a priori synthesis' of the architectonic and urban system, trigger the analytical, design and 'operational' use of the type. The identification of the type and formal characteristics that go with it are the first diagrammatic pictures of urban transformations. The diagram was then identified and theorised, in the same years of the debate on the scientific nature of urbanism, carried out by Christopher Alexander (1964) with the systematisation of a diagrammatic method to establish the formal component of design, capable of working with patterns and connections between the objects and parts of the city.

Finally, the model, overlapping both with the type and the diagram, considered as an abstract representation of physical space in a virtual one, stands as a result of a rules and symbols system, capable of describing and controlling a phenomenon or an evolving reality (Terzidis, 2015). Type, diagram and model, in these different studies, are considered both design and analysis tools. The morphogenic and analytic roles of type, diagram and model in the urban project are the most important results of these studies investigating the logic of the form. The contemporary perspective of the evolution of these studies consists



CASE 案例	A Traditional Buildings (Before 1842) 传统建筑 (1842年之前)				B Renewed Buildings (Early Socialism) 填入式改造 (早期社会主义)		C Renewed Buildings (1980s-1990s) 成片式改造 (八九十年代)	
	A1 Listed Conservation 保护建筑		A2 Non-listed Residential 居住改造非保护建筑		Type	Model	Type	Model
	Type	Model	Type	Model				
GROUP 1 Block around								

Fig. 8 | Dynamism of type and ability to imagine urban form: reconstructive diagram of the main diachronic mutations of the basic type (credit: image processed by the Authors based on Caniggia and Maffei, 1979).

Fig. 9 | The role of the type in the morphogenic process: type as a synthesis of the form (source: Trisciuglio, 2020).

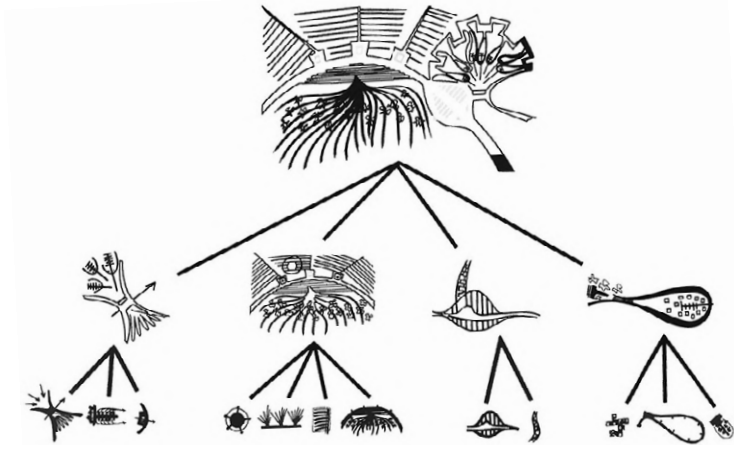


Fig. 10 | Representation of logic structures forming the design process (source: Alexander, 1964).

Next page

Fig. 11 | Roles of the type, diagram and model to integrate morphological elements into the parametric process of urban forms generation (credit: M. Barosio and R. Gugliotta, 2022).

Fig. 12 | Solution cluster creation process and consequent selection process: 'search then sort' (credit: M. Barosio and R. Gugliotta, 2022).

in using the logical clarification of the morphogenesis processes to implement computational and parametric design processes for urban transformations.

Method | The turn occurring in the urban project process from analogic to digital essentially follows two different methodologies. The first methodology envisages the creation of new forms starting from the demonstration of compositional rules and standards capable of expressing the aims of the project. The second methodology envisages the creation of a set of variables of forms based on the matching with paradigmatic data/examples sets.

Within the framework of the Transitional Morphologies Joint Research Unit research activities, coordinated by professors Li Bao and Marco Trisciuglio, developed by the Politecnico di Torino and the Southeast University Nanjing (China) in 2018, accurate experimentations have been carried out using both methodologies. Therefore, the approach chosen was abductive to research, in the sense coined by Charles Sanders Peirce (quoted in Hartshorne, Weiss and Burks, 1931-1958), starting from precise results considered paradigmatic to the definition of more general themes and critical issues to address in future research. The method used in the single case studies depended on many factors, such as the project scale and the types of project requirements as well as the institutional context of the experimentation.

The first experimentation², carried out in the frame of the so-called third mission, aimed at the automatic creation of gym layouts responding to precise functional and perceptual requirements defined by the clients. In this case, the method used was the creation of a rich database of images, showing the functional type of the gym, producing a cluster of solutions (Fig. 4), by using an image-based generative model (Para et alii, 2021).

Another experimentation³, with a more speculative nature – made possible by the internationalisation fund received for the partnership projects of Politecnico di Torino (2017-2020) and Southeast University (2018-2019) – has worked on the possibility to generate urban forms starting from diagrams and rules to interpret and re-elaborate urban types previously identified to generate new design proposals on a planivolumetric level in urban regeneration processes. This subject dealt with collective project experimentations on the emergency housing subject and its needs for flex-

ibility and quick reconfiguration of project proposals also on an urban scale (Figg. 5-7).

The research, still in the initial stage, does not aim to build a univocal methodology to integrate formal and spatial data in the processes of parametric and computational design of the city, but to develop the potentiality of Parametric Design Thinking (Oxman, 2017) as a tool for the urban project. The different experimentations have quickly highlighted the, at least apparent, limit of this type of approach that, as it cannot incorporate all the requirements that make up the design program, some of which are even impossible to clarify, results in a set of possible solutions and not just one solution.

At the end of this cluster of solutions, the intervention of the designer is necessary to select the most suited one. The final aim of the research is to enhance the project process by translating formal conditions into standards based on types, diagrams and models allowing them to become elements of the computational language. The experimentations carried out up to this day in this sense are limited to urban types of the consolidated European city and have been developed in a non-systematic way, but aimed to make potentialities and problems of scientific research emerge.

Type as the synthesis of the form | The concept of type in architecture, considered sometimes as a static object resulting from a set of rules, is described already by Gianfranco Caniggia in 1979 as 'type deformity' and 'deviances' hence foreshadowing its dynamism and transformative capacity based on the project (Caniggia and Maffei, 1979; Fig. 8). The concept of type is increasingly relevant in the contemporary debate on informatisation of the project processes. The typological and morphological research, aiming at a computational design based on algorithmic-mathematical design, introduces the complexity of the architectural artefact through the concept of genotype, encapsulating formal and functional parameters in it (Ventura, 2015).

The role of the type in the morphogenetic process as synthesis of the form is to highlight the invariants in the spaces layout, but also to outline the evolution of urban morphology by foreshadowing a variety of solutions (Trisciuglio, 2020; Fig. 9). Today, we can 'teach' a machine to recognise these invariants through the creation of databases with examples containing the invariants. Then, the computational tool will be able to

create a set of solutions for these invariants. This use of the type within the computational process can be applied both to functional and morphological types and requires a prior elaboration of a dataset with a sufficiently high number of examples to represent the variety and complexity of the type under discussion (Hu et alii, 2020).

Diagram as the expression of connections between formal elements |

Over the last decades, since Eisenman, the diagram was developed as generative medium within the architectural design process (Gleiter and Gasperoni, 2019), and not only computational. The definition comes from the distinction made by Eisenman (1999) in his book *Diagram Diaries*. Besides the analytical function of the diagram, he recognised its generative function, able to enrich architecture with new meanings with the aim to transform the purpose of the project. Hence, the generative diagram is not only explicative but enables to define and understand the hidden and latent components of the project. In particular, in the morphogenetic process, the diagram is presented as a useful tool to explain the connections between the elements of the whole system (Stjernfelt, 2007).

Recognising logic structures that guide the design process and the planning problems leads to what Alexander (1964) has called 'loss of innocence' in which each design decision at the formal level is given specific importance (Fig. 10). Through the diagram it is possible to define actions, connections and dynamics of the formation process. In particular, when the use of the diagram is considered in the morphogenetic process, its importance emerges as a tool in the transformation and generation of new forms of the architectural design vision, translating information and data into forms (Gleiter and Gasperoni, 2019).

The diagram can be described as the reiteration of a deductive process that, working by trial and error, leads to the creation of a new vision (Stjernfelt, 2007) of architectural forms. The role played by the diagram in the morphogenetic process is the clarification of the connections between the formal elements, but also the connections within the same elements, to generate new forms and overcome the static vision of the creation of the form (Armando and Durbiano, 2019). The role of the diagram becomes fundamental in algorithmic design, that is the aspect of the computational project generating new forms from rules, mainly mathematical (Caetano, Santos and Leitão, 2020).

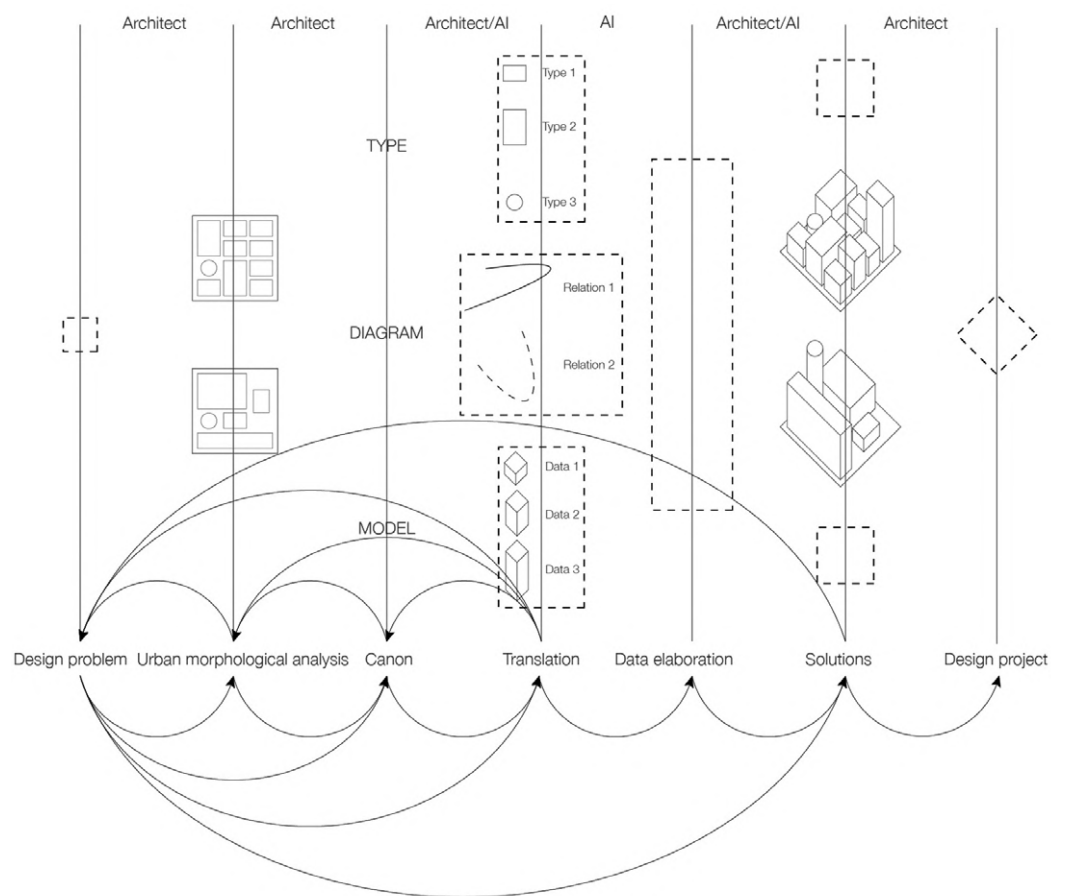
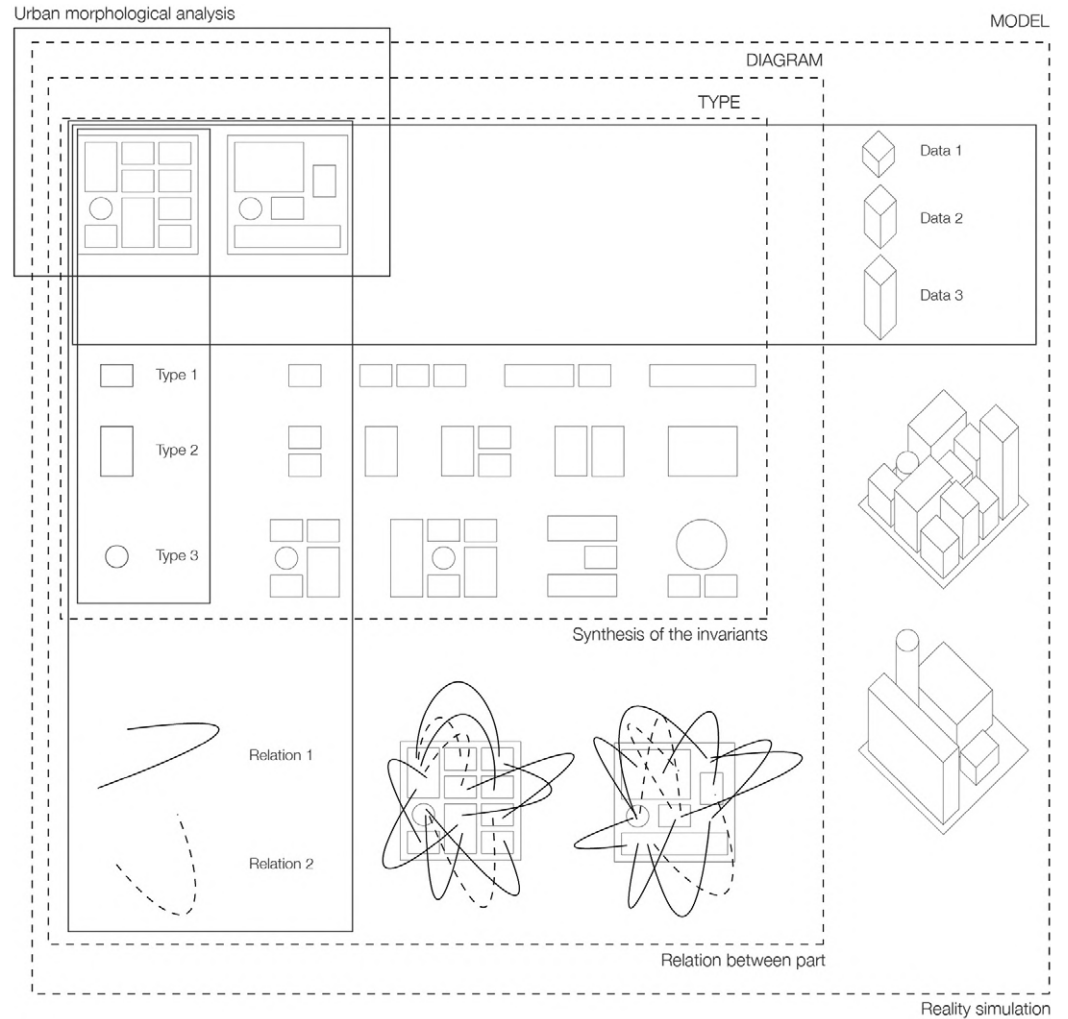
Model as the base of reference data | Here the model is considered the product of a digital simulation of different kinds of data merging into the project. The obtained virtual model allows the designer, but also laymen, to 'see', evaluate and work on the spatial results of the project process. In the computational process, the project inputs are not implicit considerations in the mind of the designer, but become explicit data, translatable into electronic inputs entering the design project and handled by the designer (Ventura, 2015); they become part of a virtual simulation model, capable of describing real phenomena with the aim to vary and manipulate parameters to develop new design scenarios (Terzidis, 2015).

The digital model is the common thread between the numerical language that can be interfaced with calculation and the visual character of immediate comprehension for the designer. The algorithmic relation between the digital model and the project parameters allows the designer to modify it in real-time with specific works (scaling, permutation, deformation) and the contemporary control of quantitative parameters linked to the project (Calvano, 2015).

Conclusions | The generative approach to design does not envisage just one result, but the creation of solutions set out in what DeLanda (2016) calls 'space of possibility'. The design leads to a generative process of the form, that is no longer unique and essential, but mirrored in multiple configurations (Ventura, 2015). Parametric Design Thinking, defined as the associative process of geometric concepts (Woodbury, 2010), uses an interface permitting to see the algorithmic structure of the creative process. The attempt to incorporate in this process not only quantitative data (size, performance, norm) but also formal standards, raises the issue of translating these morphologic data and of breaking down and re-articulating the design process accordingly. The deconstruction of the project will enable to reconsider the action of the designers in time within the process (Armando and Durbiano, 2017) and their relation with computational tools.

The hypothesis here described is that a fundamental aspect of the current digital turn is the translation of morphological aspects of the city with abstraction tools capable of connecting with the computational language. With this purpose, the paper proposes the use of the type, diagram and model assigning to each one of them a specific value (Fig. 11) to integrate morphologic elements into the parametric process of urban forms generation. Following this reasoning, the type is seen as the element capable of synthesising the invariants of the urban form and translating them into patterns that can potentially be integrated into algorithmic logic. The second tool proposed is the diagram, useful to highlight the connections between the parts characterising the urban morphology and fundamental to write the codes on which the parametric project is based. Finally, the model is a fundamental simulation tool to trigger the revision and feedback processes that characterise the circularity and reiteration of the parametric approach.

Each one of these tools – type, diagram and model – carries some risks for the project process. The use of the type as a synthesis of the form



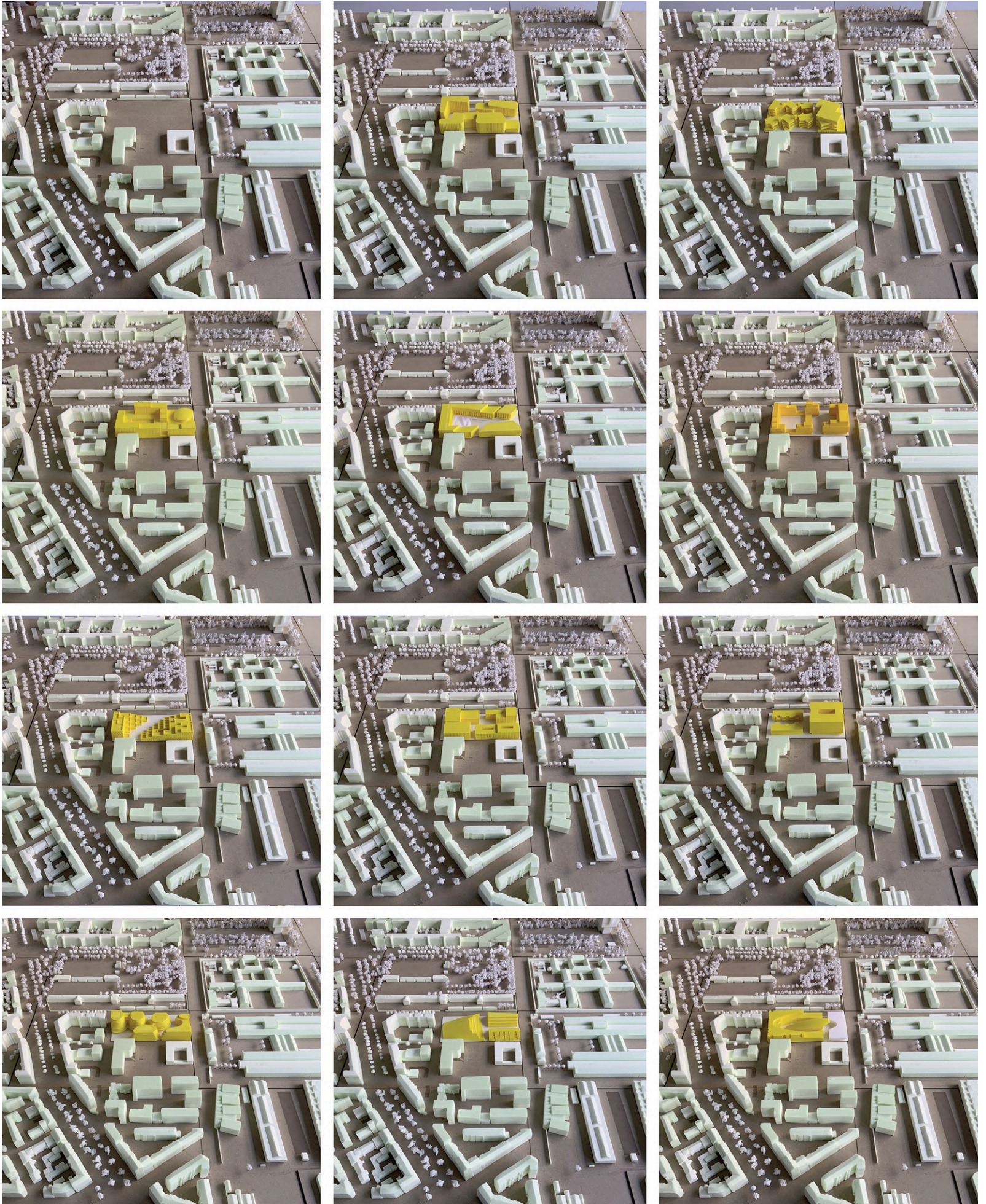


Fig. 13 | Search then sort. Multiple project solutions for the Westinghouse area in Torino (Atelier Design and Modeling, Prof. M. Barosio and Prof. M. Lo Turco, a.y. 2021/2022, Politecnico di Torino).

can lead to an excessive immobility of the considered forms, while the role of the diagram in showing the connections between formal elements can lead to an excessive extraction and a progressive distancing from the specificities of the context, taking the direction of self-referential morphogenesis, while the use of models as interactive verifi-

cation of project solutions can give a deceptive feeling of control over the final solution.

The apparent limit of this approach taken as a whole – that is the inability to find a unique and optimal solution – is also its main potentiality. The wealth of solutions proposed and configured by the computational design processes enables to

stimulate design considerations out of the framework of a classification approach (Fig. 12). The exhortation by Mario Carpo (2017) ‘search don’t sort’ – urging to avoid taxonomies to explore unlimited universes of solutions – could be transformed in ‘search then sort’, highlighting the potential of the approach.

Acknowledgements

The paper is the result of a joint reflection by the Authors. However, the introduction and the paragraphs ‘State of the art’ and ‘Diagram as the expression of connections between formal elements’ were written by R. Gugliotta, and the paragraphs ‘Method’, ‘Type as the synthesis of the form’, ‘Model as the base of reference data’ and ‘Conclusions’ by M. Barosio.

Notes

1) The term innovability[®] is a trademark of Enel SpA. All rights reserved to Enel SpA.

2) Research Agreement between Politecnico di Torino and Basic Fit: FIT-THINGS – Finding Information Technologies To Heighten Interoperable New layout Generative design Solutions; Scientific Supervisor: Professor M. Lo Turco.

3) Transitional Morphologies Joint Research Unit, Politecnico di Torino (Italy) and Nanjing Southeast University (China); Scientific Supervisors: Professor B. Li and Professor M. Trisciuglio.

References

- Al Qeisi, S. and Al-Alwan, H. (2021), “Generative Urban Design Concepts and Methods – A Research Review”, in *1st International Conference on Engineering Science and Technology (ICEST 2020)*, 23-24 December 2020, vol. 1090, Samawah, Iraq, pp. 1-12. [Online] Available at: doi.org/10.1088/1757-899X/1090/1/012085 [Accessed 08 September 2022].
- Allen, S. (2009), *Practice architecture, technique representation*, Abingdon, Routledge.
- Alexander, C. (1964), *Notes on the Synthesis of Form*, Cambridge, Harvard University Press.
- Armando, A. and Durbiano, G. (2019), “Disegnare oggetti, disegnare architetture – Due forme dello schema per il progetto”, in *Philosophy Kitchen EXTRA*, vol. 3, pp. 23-34. [Online] Available at: doi.org/10.13135/2385-1945/4266 [Accessed 08 September 2022].
- Armando, A. and Durbiano, G. (2017), *Teoria del progetto architettonico – Dai disegni agli effetti*, Roma, Carocci.
- Barosio, M. and Gugliotta, R. (2020), “Dal tipo al diagramma – La rappresentazione del dato come strumento euristico per il progetto di architettura”, in *Dienne – Building Information Modeling, Data & Semantics*, vol. 7, pp. 28-39. [Online] Available at: dienne.org/en/2021/01/07/barosio-gugliotta-en/ [Accessed 08 September 2022].
- Bassolino, E. and Ambrosini, L. (2016), “Parametric environmental climate adaptive design – The role of data design to control urban regeneration project of Borgo Antignano, Naples”, in *Procedia / Social and Behavioral Sciences*, vol. 216, pp. 948-959. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.12.092 [Accessed 08 September 2022].
- Berghauer Pont, M. Y. and Haupt, P. A. (2021), *Space-matrix – Space density and urban form*, Rotterdam, NAI010. [Online] Available at: resolver.tudelft.nl/uuid:0e8cdd4d-80d0-4c4c-97dc-dbb9e5ee7c2 [Accessed 08 September 2022].
- Caetano, I., Santos, L. and Leitão, A. (2020), “Computational design in architecture – Defining parametric, generative, and algorithmic design”, in *Frontiers of Architectural Research*, vol. 9, issue 2, pp. 287-300. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.foar.2019.12.008 [Accessed 08 September 2022].
- Cai, C., Zifeng, G., Baizhou, Z., Xiao, W., Biao, L. and Peng, T. (2021), “Urban Morphological Feature Extraction and Multi-Dimensional Similarity Analysis Based on Deep Learning Approaches”, in *Sustainability*, vol. 13, issue 12, article 6859, pp. 1-16. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su13126859 [Accessed 12 October 2022].
- Calvano, M. (2015), “Modelli rappresentati e algoritmi tipologici | Represented models and typological algorithms”, in *Scienze per l’Abitare / Planning Design Technology*, vol. 4, pp. 157-161.
- Caniggia, G. and Maffei, G. L. (1979), *Lettura dell’edilizia di base*, Venezia, Marsilio.
- Carpo, M. (2017), *The second digital turn – Design beyond intelligence*, Cambridge London, The MIT Press.
- Chiodo, S. (2011), *Estetica dell’architettura*, Roma, Carocci.
- De la Vega Hernández, I. M. and Barcellos de Paula, L. (2021), “Scientific mapping on the convergence of innovation and sustainability (innovability) – 1990-2018”, in *Kybernetes*, vol. 50, issue 10, pp. 2917-2942. [Online] Available at: doi.org/10.1108/K-05-2020-0328 [Accessed 12 October 2022].
- DeLanda, M. (2016), *Assemblage Theory*, Edinburgh University Press.
- Dibble, J., Prelorendjos, A., Romice, O., Zanella, M., Strano, E., Pagel, M. and Porta, S. (2017), “On the origin of spaces – Morphometric foundations of urban form evolution”, in *Environment and Planning B – Urban Analytics and City Science*, vol. 46, issue 4, pp. 707-730. [Online] Available at: doi.org/10.1177/2399808317725075 [Accessed 08 September 2022].
- Easterling, K. (2016), *Extrastatecraft the power of infrastructure space*, London New York, Verso.
- Eisenman, P. (1999), *Diagramm Diaries*, New York, Universe Pub.
- Fleischmann, M., Romice, O. and Porta S. (2020), “Measuring urban form – Overcoming terminological inconsistencies for a quantitative and comprehensive morphologic analysis of cities”, in *Environment and Planning B – Urban Analytics and City Science*, vol. 48, issue 8, pp. 2133-2150. [Online] Available at: doi.org/10.1177/2399808320910444 [Accessed 08 September 2022].
- Gasperoni, L. and Gretsche, S. (2022), *Experimental diagrams in architecture*, Construction and Design Manual, Berlin, DOM.
- Gleiter, H. J. and Gasperoni, L. (2019), *Architektur und Diagramm – Ein theoretisches Experiment*, Berlin, Universitätsverlag der TU Berlin.
- Gausa, M. and Vivaldi, J. (2021), *The Threefold Logic of Advanced Architecture – Conformative, Distributive and Expansive Protocols for an Informational Practice – 1990-2020*, United States, Actar D.
- 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 28 September 2022].
- Hartshorne, C., Weiss, P. and Burks, A. (eds) (1931-1958), *Collected Papers of Charles Sanders Peirce*, Harvard University Press, Cambridge (MA). [Online] Available at: colorsemiotica.files.wordpress.com/2014/08/peirce-collectedpapers.pdf [Accessed 08 September 2022].
- Hu, R., Huang, Z., Tang, Y., van Kaick, O., Zhang, H. and Huang, H. (2020), “Graph2Plan – Learning Floorplan Generation from Layout Graphs”, in *ACM Transaction on Graphics*, vol. 39, n. 4, article 118, pp. 1-14. [Online] Available at: doi.org/10.1145/3386569.3392391 [Accessed 08 September 2022].
- Muratori, S. (1959), *Studi per un’operante storia urbana di Venezia*, Roma, Istituto Poligrafico dello Stato.
- Oxman, R. (2017), “Thinking difference – Theories and models of parametric design thinking”, in *Design Studies*, vol. 52, pp. 4-39. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.destud.2017.06.001 [Accessed 08 September 2022].
- Para, W. R., Guerrero, P., Kelly, T., Guibas, L. J. and Wonka, P. (2021), “Generative Layout Modeling using Constraint Graphs”, in *2021 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV)*, pp. 6690-6700. [Online] Available at: doi.org/10.48550/arXiv.2011.13417 [Accessed 08 September 2022].
- Peeters, A. and Yoram, E. (2012), “Automated recognition of urban objects for morphological urban analysis”, in *Computers Environment Urban System*, vol. 36, issue 6, pp. 573-582. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.compenurbysys.2012.05.002 [Accessed 12 October 2022].
- Pinotti, A. and Tedesco, S. (2013), *Estetica e scienze della vita*, Milano, Raffaello Cortina.
- Stjernfelt, F. (2007), *Diagrammatology – An investigation on the borderlines of phenomenology, ontology, and semiotics*, Springer. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-1-4020-5652-9 [Accessed 08 September 2022].
- Terzidis, K. (2015), *Permutation design – Buildings, Texts, and Contexts*, Routledge, New York.
- Trisciuglio, M. (2020), “Nota sulle morfologie urbane transizionali come critica agli studi urbani in ambito cinese – La mappa tipologica di Hehua Tang a Nanchino | Note on the transitional urban morphologies as a criticism of urban studies in the Chinese context – The typological map on Nanjing Hehua Tang”, in *U+D | Urbanform and Design*, vol. 14, pp. 14-27. [Online] Available at: doi.org/10.48255/J.U.D.14.2020.003 [Accessed 08 September 2022].
- Trisciuglio, M., Barosio, M., Ricchiardi, A., Tulumen, Z., Crapolicchio, M. and Gugliotta, R. (2021), “Transitional Morphologies and Urban Forms – Generation and Regeneration Processes – An Agenda”, in *Sustainability*, vol. 13, issue 11, article 6233, pp. 1-19. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su13116233 [Accessed 08 September 2022].
- Ventura, D. (2015), “Genotipo Architettonico – L’evoluzione dei concetti Tipo e Modello nell’architettura contemporanea | The Architectural Genotype – The evolution of the concepts Type and Model in the contemporary architecture”, in *Scienze per l’Abitare / Planning Design Technology*, vol. 4, pp. 134-150.
- Witt, A. (2016), “Cartographic Metamorphologies; or, Enter the RoweBot”, in *Log*, vol. 36, pp. 115-124. [Online] Available at: jstor.org/stable/26323701 [Accessed 08 September 2022].
- Woodbury, R. (2010), *Elements of Parametric Design*, Routledge.

GIOCARE SERIAMENTE PER CRESCERE DIGITALI

Ridurre gli sprechi con il Lean mindset

SERIOUS GAMING FOR DIGITAL GROWTH

Reducing waste through the Lean mindset

Maria Antonietta Esposito, Filippo Bosi, Caterina Ferraro

ABSTRACT

La spinta data dal contesto italiano verso il BIM dovrebbe essere considerata un'opportunità per attuare una transizione digitale verso l'uso degli strumenti informatici con un approccio culturalmente innovativo nelle Costruzioni offerto dal Lean thinking, e in particolare dalla sua gamificazione. L'approccio Lean sfrutta alcune strategie collaudate per aumentare la qualità del processo produttivo. Tuttavia, la sua applicazione risulta ancora essere difficoltosa: da qui deriva l'esigenza di veicolare proposte efficaci che sfruttino la struttura dei giochi per proporre delle vere e proprie 'simulazioni' del processo produttivo. Il contributo mira a evidenziare come l'applicazione gamificata dei processi Lean costituisca una formula trasformativa abilitante la digitalizzazione, per raggiungere gli obiettivi di sostenibilità nell'Industria AECO, attraverso approcci formativi originali.

The Italian context's push towards BIM should be considered an opportunity to implement a digital transition towards the use of IT tools, through a culturally innovative approach to construction provided by Lean thinking and its gamification. The Lean approach leverages proven strategies to increase the quality of the production process. However, its application is still difficult: hence the need to convey effective proposals that use the structure of games to present actual 'simulations' of the production process. This paper aims to highlight how the gamified application of Lean processes constitutes a transformative formula enabling digitalisation, to achieve sustainability goals in the AECO Industry through original training approaches.

KEYWORDS

gestione del progetto, BIM, giochi seri, mentalità Lean, gamification

project management, BIM, serious games, Lean mindset, gamification

Maria Antonietta Esposito, Architect and PhD, is a Full Professor acting as Associate Professor at the Department of Architecture, University of Florence (Italy). Recipient of the PUT Gold Medal (Poznan University of Technology) 2019 for technological research and of the Canada-Italy Award for Innovation 2019, her research mainly focuses on project management and technologies for the Green terminal, IPD, BIM methodologies. Mob. +39 333/566.30.83 | E-mail: mariaantonietta.esposito@unifi.it

Filippo Bosi, PhD, is an Architect at Toscana Aeroporti SpA (Italy) and Toscana Aeroporti Engineering as an expert in Airport Terminal Design. His research activities are primarily focused on Project Management and the integration of Lean Management and Lean Design methodologies in project processes. Mob. +39 328/002.56.94 | E-mail: filippo.bosi@unifi.it

Caterina Ferraro, Architect, is a PhD Candidate holding a PON industrial grant in Sustainability and Innovation for the Design of Built Environment and System Product at the Department of Architecture, University of Florence (Italy). She carries out research activities mainly in the field of physical and digital architectural solutions through computerised BIM systems combined with the use of Lean strategies. Mob. +39 346/408.51.18 | E-mail: caterina.ferraro@unifi.it



La transizione digitale dell'Industria delle Costruzioni è avanzata in tutta Europa per la spinta regolatoria delle direttive EU¹, mentre in Italia sta accadendo lo stesso grazie ai recepimenti derivati dai D.M. 560/2017² e D.M. 312/2021³; secondo le recenti disposizioni sulle metodologie BIM del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti⁴ si prevede che entro il 2025 le opere pubbliche di importo pari o superiore al milione di euro debbano essere sviluppati in digitale con metodologie BIM. Tuttavia, il settore costruzioni, soprattutto nel contesto italiano, maggiormente caratterizzato dalla presenza di piccole-medie imprese sottocapitalizzate, fa fatica a investire per adeguarsi alle metodologie innovative (Charef et alii, 2019). Inoltre, non essendo stato pubblicato il Nuovo Regolamento per l'applicazione del Codice degli Appalti, ci si continua a riferire al vecchio Regolamento 207/2010⁵ e al c.d. Decreto Sblocca Cantieri⁶ che prevede un approccio 'non legislativo' secondo le linee guida delle Autorità competenti (ad esempio quelle dell'Agenzia Nazionale Anti Corruzione – ANAC)⁷, privilegiando di fatto gli aspetti giuridici di contrasto alla corruzione rispetto a quelli culturali e tecnici essenziali per la digitalizzazione.

Le metodologie e gli strumenti oggi disponibili consentono di controllare numerosi aspetti del progetto architettonico (Esposito, Donato and Bosi, 2019; Oesterreich and Teuteberg, 2019), come la valutazione della risposta degli utenti mediante simulazioni (Kuliga et alii, 2015; Stocking, 2016; Tagliabue et alii, 2021) e la gestione del patrimonio e della manutenzione dell'edificio nell'intero ciclo di servizio (Iadanza et alii, 2015; Torricelli, 2019). In tutti i casi si ottiene una notevole riduzione degli errori progettuali o costruttivi e la possibilità di operare in termini di gestione della qualità del prodotto finale.

In quest'ottica il contributo si focalizza sul Lean mindset e la sua gamificazione e discute il rapporto tra le metodologie trasformative Lean e BIM per il raggiungimento degli obiettivi di digitalizzazione del progetto nel settore AECO (Architecture, Engineering, Construction and Operation). Si evidenzia, infatti, la necessità di un cambiamento di paradigma basato su un diverso approccio culturale all'innovazione digitale, tramite modalità di formazione con simulazioni ludico-didattiche, che potrebbero essere introdotte per facilitare la trasformazione digitale.

Nella prima sezione dell'intervento si ricordano i principali obiettivi dell'approccio Lean; poi vengono riportati dei casi che utilizzano gli strumenti digitali in ottica 'olistica' e orientata a un flusso lavorativo non tradizionale. A seguire si descrive una simulazione didattica che utilizza i LEGO® come strumento per l'applicazione di due flussi di lavoro, uno tradizionale e uno Lean-oriented; infine si discutono i vantaggi e le criticità di un'applicazione di processi produttivi gamificati e si riporta un'analisi critica nelle riflessioni finali. L'obiettivo del contributo è fornire una visione alternativa della formazione degli operatori del settore per raggiungere un diverso modo di intendere e vivere l'Industria AECO.

BIM e Lean mindset nei settori AECO | Il BIM, in sinergia con un'organizzazione Lean-oriented nei settori AECO, può supportare il raggiungimento di obiettivi nel campo della sostenibilità. In pri-

mis, evitando errori e quindi rilavorazioni, consente risparmi in termini di costi dell'opera finita, di quantità di materiale impiegato, di manutenzione durante il ciclo di servizio, di tempi e di risorse umane, aumenta la precisione delle informazioni del progetto, il controllo e la gestibilità di queste informazioni per operazioni di manutenzione, analisi e verifica (Ahuja, Sawhney and Arif, 2018; Figg. 1-3). Ad esempio, nella Struttura Ospedaliera di Careggi di Firenze è stato implementato un sistema basato su BIM e GIS per ottenere un consistente risparmio energetico nella gestione dell'edificio (Iadanza et alii, 2015). L'uso di 'gemelli digitali', cioè di modelli che riproducano non solo dal punto di vista geometrico, ma anche informativo e prestazionale un oggetto esistente, si può applicare a una notevole varietà di manufatti e nel caso degli Ospedali in particolare, consente una visione 'olistica', cruciale per una gestione efficiente di un edificio tanto complesso.

Nel caso del Careggi, infatti, attraverso un sistema di gestione intranet chiamato SACS, è possibile visualizzare l'intero complesso di edifici e ottenere informazioni dai vari reparti. Il sistema, che si basa su piante vettoriali caricate nell'applicativo, ma che successivamente ha ottenuto un aggiornamento con modelli tridimensionali realizzati con i software Archicad e Revit, è in grado di fornire indicazioni sull'uso, sulle attrezzature e sugli occupanti di una stanza all'interno di un reparto. Questa organizzazione delle informazioni consente così di avere sotto controllo numerose variabili e di ottenere indicazioni spaziali e logistiche utili per lo svolgimento delle operazioni quotidiane di gestione. Il sistema implica una massiccia 'dose' di programmazione, di interoperabilità tra sistemi e di migliorata collaborazione tra tutti gli addetti, che siano essi incaricati alla gestione del software o operatori sanitari.

Gli strumenti BIM consentono di gestire la complessità, come nel caso della generazione parametrica (Figg. 4, 5), di diverse soluzioni (Ridolfi and Saberi, 2019) metodo largamente utilizzato all'interno dello ZHCODE – Zaha Hadid Computation and Design Group. Secondo Bhooshan (2017), che riporta numerosi casi studio nell'ambito dello ZHCODE, la capacità computazionale degli strumenti digitali è in grado di fornire molteplici soluzioni partendo da un input progettuale di base. La combinazione di algoritmi derivati da metodi matematici di calcolo – come il Force Density Method e il Thrust Network Analysis – consente di ricavare modelli 3D di strutture che resistono ai carichi esterni solo grazie agli stress tensionali interni oppure che danno come risultato soluzioni a sola compressione. Un modello semplificato di sole superfici (mesh) può essere elaborato da questi algoritmi specifici che suggeriscono nuove forme e indicano nuovi schemi strutturali, aggiungendo, di volta in volta, secondo parametri identificati dal progettista, nuove soluzioni che pongono l'accento sulla qualità energetica dell'edificio o sulla sua disposizione interna.

Questa capacità operativa può essere sfruttata solo con una adeguata implementazione di algoritmi e processi decisionali. Di conseguenza, alle molteplici possibilità operative che si prospettano con l'uso del BIM puro, bisogna comunque associare un approccio collaborativo integrato (Esposito, Donato and Bosi, 2019; Lauria and Azzalin, 2019) il quale prevede un cambio di pa-

radigma, passando da un tipo di produzione tradizionale e di stampo individualistico a un tipo di produzione più 'snella' che preveda l'interoperabilità, non solo tra sistemi, ma anche tra persone: questa collaborazione stretta consentirebbe di ovviare a molteplici problemi decisionali, strategici e di condivisione delle conoscenze e di raggiungere gli obiettivi di sostenibilità richiesti dalle Nazioni Unite (UN, 2015; Ahuja, Sawhney and Arif, 2018; Maltese et alii, 2017; Sepasgozar et alii, 2021).

Mentalità Lean | Lo 'spreco' (Womack, Jones and Roos, 1990) è un concetto chiave nel dibattito sulla transizione digitale e sulla sua correlazione con il Lean mindset, metodologia e tecnologia trasformativa strettamente legata al BIM (Sacks et alii, 2010), e la cui applicazione è costituita da una serie di strategie (Cusumano, 1985; Powell et alii, 2014; Tzortzopoulos, Kagioglou and Koskela, 2020), già ampiamente indagate. Il Lean mindset, tuttavia, richiede un periodo di apprendimento e addestramento (Leal et alii, 2017; Oesterreich and Teuteberg, 2019; Sacks et alii, 2010) e che tutte le parti interessate ne condividano i principi: per ottenere questo obiettivo, uno dei metodi più innovativi ed efficaci sono le simulazioni didattiche 'gamificate' (Aqlan and Walters, 2017; Leal et alii, 2017; Yousefi and Mirkhezri, 2020). L'applicazione pratica di nozioni e concetti basata su simulazioni e giochi non è una novità, visto che persino il campo aeronautico e medico (Fig. 6) li impiegano, in ragione del loro consistente valore educativo (Paraskeva, Mysirlaki and Papagianni, 2010; Beltrami, 2017).

L'utilizzo di un approccio che 'mostra' come funzionano le cose – e i concetti – è vantaggioso per la loro migliore comprensione (Paraskeva, Mysirlaki and Papagianni, 2010). Sia Per Backlund e Maurice Hendrix (2013) sia Giorgio Beltrami (2017) riportano che i giochi o le 'simulazioni gamificate' potrebbero essere redditizi per l'apprendimento di nuovi strumenti. Dal punto di vista dell'Industria AECO, i casi di 'simulazione gamificata' sono numerosi (Aqlan and Walters, 2017). Essi sono congegnati per comprendere meglio le strategie e i processi Lean, dando un riscontro immediato sui loro benefici agli allievi (Figg. 7, 8).

Un esempio in questo senso, svolto nell'ambito dell'Università degli Studi di Firenze, consisteva nel costruire, con l'aiuto di mattoncini LEGO®, di diversi colori, una serie di edifici (Figg. 9, 10), i cui requisiti erano precedentemente definiti da schede di istruzioni. Ogni componente edilizio dell'abitazione aveva un colore diverso, associando, ad esempio, i mattoncini blu ai pavimenti, quelli rossi ai muri, i gialli agli impianti e i verdi alle coperture. Un piano di lavoro veniva quindi diviso in postazioni, ognuna delle quali doveva portare a termine la costruzione di quattro edifici. Le postazioni in totale erano 6, per un totale di 24 'unità'. La simulazione prevedeva quindi una divisione in due fasi: nella prima, veniva applicato un processo di produzione così detto 'tradizionale', nella seconda un processo di produzione Lean-based, entrambe con una durata prestabilita, che rispondeva a una ipotetica 'data di consegna'.

Il processo di produzione 'tradizionale' vedeva i partecipanti divisi in tanti gruppi quanti erano i componenti che costituivano l'edificio: un parte-

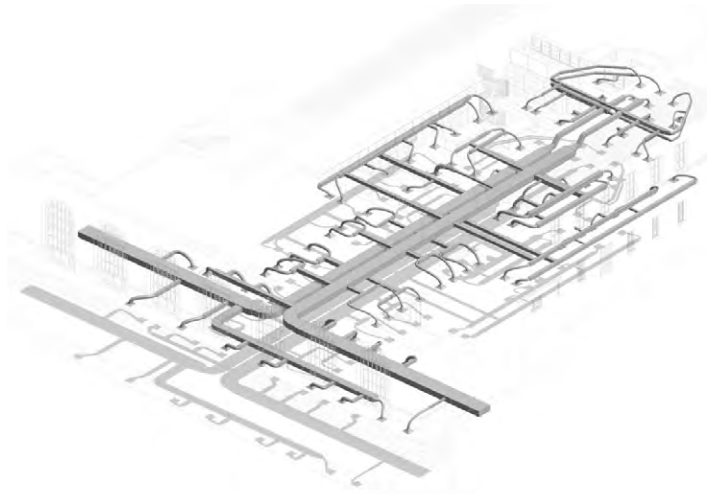
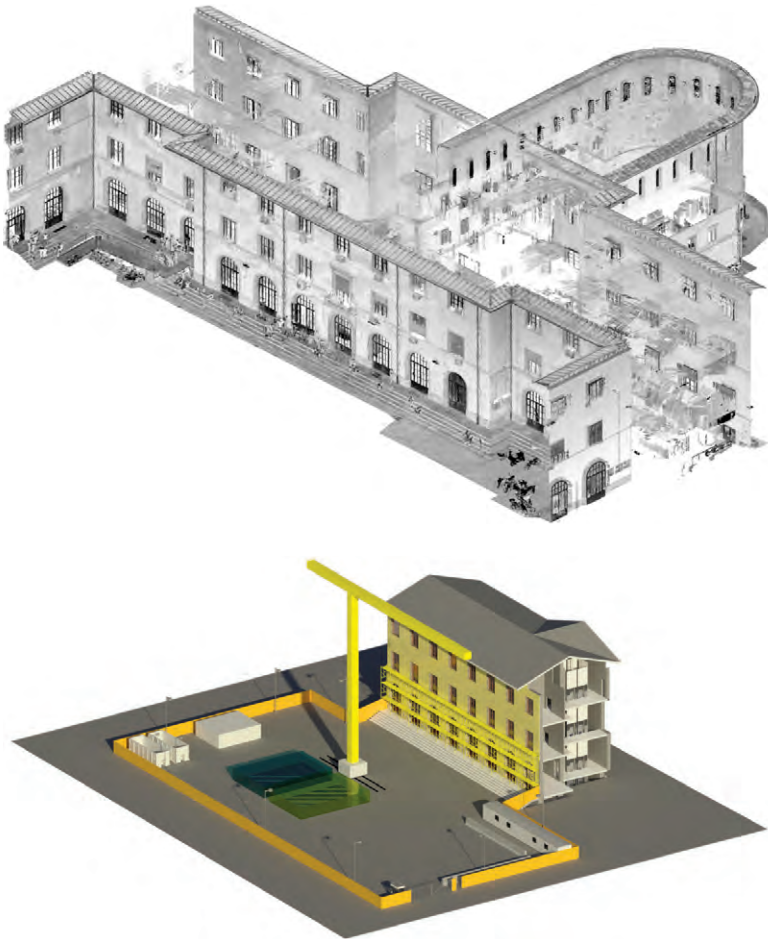


Fig. 1 | Example of point cloud: Complesso di Santa Marta, Faculty of Engineering, University of Florence (credit: Il level Master's degree in BIM for the management of collaborative design processes in new and existing buildings, a.y. 2020-2021).

Fig. 2 | Model of the installations of a portion of the Complesso di Santa Marta (credit: Il level Master's degree in BIM for the management of collaborative design processes in new and existing buildings, a.y. 2020-2021).

Fig. 3 | Construction site model for the Complesso di Santa Marta (credit: Il level Master's degree in BIM for the management of collaborative design processes in new and existing buildings, a.y. 2020-2021).

cipante si occupava quindi dei pavimenti, un altro dei muri e così via. Prima dell'inizio della simulazione venivano definiti tutti i ruoli fondamentali per lo sviluppo del processo produttivo: il manager e il cliente si occupavano di fornire ai vari operatori le istruzioni di costruzione, consegnandole alle postazioni di lavoro, la 'gru' si occupava dei materiali da costruzione – i mattoncini – da dare agli operatori che ne facessero richiesta, infine il controllo qualità si occupava di cronometrare ciascuna fase, segnando tempi di consegna, numero di edifici completati e numero di errori riscontrati nelle 'unità' ultimate. La registrazione video della sessione, unita alla compilazione dell'opportuna tabella di dati, ha consentito il calcolo delle prestazioni per la prima e per la seconda fase.

Nella prima fase che sviluppava un processo costruttivo 'tradizionale' erano in essere alcune regole aggiuntive: i mattoncini potevano essere spostati, se necessario, da una postazione di lavoro a un'altra unicamente dalla gru e ogni operatore non poteva operare sui mattoncini che non erano di sua diretta competenza. Ad esempio, se era necessario cambiare la configurazione dei muri, ma erano già in sede impianti e coperture, l'operatore che si occupava delle partizioni doveva aspettare che i colleghi togliessero coperture e impianti. Inoltre il fatto che gli operatori non potessero spostare risorse da una postazione di lavoro a un'altra voleva dire aspettare la figura detta 'gru'. Una volta partita la catena produttiva gli operatori che si occupavano dei pavimenti iniziavano a sistemare i mattoncini necessari per ciascuna postazione, richiedendo i materiali necessari alla 'gru'. Appena conclusa l'operazione, lasciavano in carico il lavoro agli operatori delle par-

tizioni, i quali a loro volta passavano l'incarico agli impianti e così via.

Tuttavia, ad un certo punto durante lo svolgimento, il manager e il cliente concordavano varianti di progetto per alcuni edifici. Gli operatori, quindi, dovevano tornare sugli edifici già completati per modificarli, con notevoli ritardi, sovrapposizioni e confusione, poiché parte delle risorse dovevano essere manipolate dalla 'gru'. Una volta concluso il tempo stabilito per la prima fase e ristabiliti i materiali come erano all'inizio, si passava allo svolgimento della seconda fase. Quest'ultima, Lean-based, prevedeva gli stessi presupposti della linea di produzione tradizionale, ma con alcune modifiche: gli operatori non erano più divisi in base ai sub-sistemi edilizi, ma avevano in carico una singola postazione, completando gli edifici ad essa associati in tutte le loro parti; inoltre, potevano passare risorse ai colleghi delle postazioni adiacenti, senza attendere la gru. Infine, gli operatori non iniziavano a costruire immediatamente, ma solo dopo aver ricevuto la 'variante' in corso d'opera.

Il confronto dei dati tra la prima linea di produzione e la seconda ha dimostrato come il processo tradizionale avesse tempi dilatati rispetto al processo Lean-based il quale, modificato per essere un processo ottimizzato, era composto da attività che contribuivano integralmente al valore finale del prodotto. Nel primo caso, quello del processo produttivo tradizionale, infatti, gli obiettivi di costruzione non sono stati raggiunti, poiché alcuni edifici non sono stati completati e altri non corrispondevano alle istruzioni, nel secondo, invece, tutti gli edifici sono stati realizzati e non presentavano errori.

Durante la pandemia da Covid-19, per via della inapplicabilità della simulazione in presenza, si è reso necessario provare una simulazione riadattata (Figg. 11, 12) all'ambiente digitale, sulla base della precedente, mantenendo di fatto quindi il flusso di lavoro di tipo 'tradizionale' e 'Lean', le 'istruzioni' di costruzione e una 'postazione' di lavoro all'interno di un file. Questa simulazione svolta in remoto ha confermato i risultati della simulazione in presenza. I dati raccolti durante la simulazione sono stati inseriti in opportune tabelle di calcolo tratte dal lavoro di Raphael Sacks et alii (2010), impiegate anche per il calcolo delle prestazioni per la simulazione in presenza, consentendo di valutare numericamente quanto un processo 'snello' fosse superiore rispetto a quello tradizionale (Figg. 13-15).

In particolare è emerso come il metodo Lean, rispetto al metodo tradizionale, consentisse un risparmio di tempo di circa il 50%, avesse un fattore produttivo molto più elevato – ovvero la quantità di unità al minuto prodotte era significativamente maggiore – e la quantità di tempo dedicata al completamento di ogni sua singola fase produttiva fosse minore rispetto al metodo tradizionale. Gli elementi a sostegno dei processi basati sul Lean ci spingono a ritenere che questo approccio sia il più valido da impiegare nel futuro del settore AECO e di poterlo fare evolvere in un sistema dinamico e flessibile di 'simulazioni gamificate'. Tuttavia, tali simulazioni non sono, ovviamente, prive di criticità: prima di tutto la tenuta del calcolo delle prestazioni, il quale deve essere effettuato in modo rigoroso per poter essere determinante e significativo; in secondo luogo la presenza attiva, consapevole e

motivata di molti partecipanti perché possa essere efficace.

In conclusione le simulazioni in ambito Lean e BIM potrebbero essere un ottimo aiuto per la formazione e l'addestramento di figure del settore, ma devono essere sostenute da un contesto e da una motivazione adeguati. Anche se di fatto esistono workshop mirati al team-work e alla diffusione della conoscenza, essi sono spesso carenti dal punto di vista del coinvolgimento, inficiando la permanenza delle conoscenze acquisite. L'esempio mostrato e altre simulazioni sono progettate per ovviare a questa problematica. La proposta è, quindi, impiegare un approccio metodologico originale, diverso e più avanzato nei settori AECO, ragionando non più solo in termini di qualità intrinseca del prodotto, ma in termini di efficienza dell'intero processo.

Discussione | Nonostante le premesse incoraggianti che emergono dagli studi e dal dibattito internazionale, la metodologia e gli strumenti BIM risultano ancora poco applicati nel contesto italiano (Charef et alii, 2019). Oltre alla necessità di avere una formazione specifica per utilizzare gli strumenti, sarebbe necessaria una Cultura tecnologica capace di supportare l'approccio allo strumento, non solo regolato da standard tecnici ma anche di processo (Ahuja, Sawhney and Arif, 2018). Il settore scientifico disciplinare e le comunità internazionali collegate andrebbero sensibilizzate sull'urgente esigenza di impiegare un approccio sistemico adeguato e abilitante per la prassi digitale ormai pervasiva.

Per tale finalità tutti gli attori coinvolti nei settori AECO dovrebbero condividere una visione comune che valuti la formazione dei singoli operatori come un aspetto centrale (Ahuja, Sawhney and Arif, 2018), la quale deve avvenire anche sugli aspetti sociotecnici a carattere organizzativo e di processo, proprio tramite le simulazioni didattiche descritte precedentemente. Il principale vantaggio di una simulazione Lean nell'ambito del settore AECO è quello di valutare i flussi di lavoro in un'ottica più ampia e di poter comprendere appieno la differenza tra una modalità di lavoro e un'altra,

consentendo una scelta oculata e consapevole dell'alternativa migliore.

Le principali criticità, tuttavia, si possono riscontrare non solo nel consistente dispendio di risorse verso la formazione di figure centrali nell'utilizzo sia del BIM sia dei processi Lean, ma anche nell'elaborare e far applicare queste simulazioni ai settori interessati, implicando di fatto la formazione di figure esperte dedicate allo sviluppo di simulazioni gamificate efficaci e trasversali. Tuttavia, dover convogliare notevoli investimenti sulla formazione continua e sul miglioramento costante di tecnologia e metodo potrebbe essere un'opportunità per ottenere progetti 'integrati' a tutti i livelli.

Riflessioni conclusive | In conclusione, risulta opportuno che si utilizzino nuove strategie anche nelle costruzioni, per la formazione, per l'aggiornamento professionale, per la realizzazione degli edifici, per la loro gestione e per lo sviluppo di flussi di lavoro alternativi. Le nuove strategie per la sostenibilità trarrebbero un notevole beneficio dall'applicazione delle modalità di serious learning e gamified simulations. Il Serious Gaming contribuisce alla penetrazione nel settore delle conoscenze necessarie attraverso nuove metodologie di apprendimento, accelerando il processo di innovazione. Rivolgersi a un approccio gamificato dei processi costruttivi e/o industriali potrebbe essere giudicato 'puerile' e osteggiato da chi ritiene che la pratica si applichi direttamente su casi reali. Tuttavia, l'applicazione di certe conoscenze in modo acerbo potrebbe costare cara; così come da anni i piloti, gli astronauti e i chirurghi si allenano in opportune camere di simulazione, anche l'architetto o il progettista dovrebbero verificare la tenuta dei loro progetti in un ambiente che ammetta l'errore.

Risulta necessario, pertanto, superare pregiudizi di sorta che impediscono la compenetrazione tra settori apparentemente non correlati e assorbire gli elementi più utili all'innovazione e allo sviluppo della pratica architettonica. Saper sfruttare i settori della gamification, delle simulazioni didattiche e, perché no, anche dell'entertainment po-

trebbe aprire molteplici porte a una nuova frontiera della formazione e sensibilizzazione del settore AECO verso la digitalizzazione. Forse è il momento di abbracciare l'idea che un'applicazione 'ludica' dei concetti possa rendere più accessibile e migliorare l'apprendimento per tutti. Il Lean gamificato, unito alle capacità computazionali del BIM, aprirebbe così nuove e promettenti frontiere della progettazione.

The digital transition of the construction industry has advanced throughout Europe and Italy due to the regulatory push of the EU directives¹, transposed in Italy by Ministerial Decree 560/2017² and Ministerial Decree 312/2021³; according to the recent provisions on BIM methodologies of the Ministry of Infrastructure and Transport⁴ it is expected that, by 2025, public works with a value equal to or greater than one million euro must be developed digitally with BIM methodologies. However, the Italian construction sector, mainly characterised by the presence of under-capitalised small and medium-sized enterprises, is struggling to invest in order to adapt to the innovative methodologies (Charef et alii, 2019). Moreover, since the New Regulations for the application of the Italian Procurement Code (Codice degli Appalti) have not been published, it is still necessary to refer to the previous Regulation 207/2010⁵ and the so-called Sblocca Cantieri Decree⁶ that provides for a 'non-legislative' approach according to the guidelines of the competent Authorities (e.g. those of the Italian Anticorruption Authority – ANAC)⁷, in fact favouring the legal aspects of anti-corruption over the cultural and technical aspects essential for digitalisation.

The methodologies and tools available today make it possible to control numerous aspects of the architectural project (Esposito, Donato and Bosi, 2019; Oesterreich and Teuteberg, 2019), such as the evaluation of user response through simulations (Kuliga et alii, 2015; Stocking, 2016; Tagliabue et alii, 2021) and the management of the building's assets and maintenance through-



Fig. 4 | Parametric portal realised with the implementation of an algorithm using Dynamo® software (credit: Il level Master's degree in BIM for the management of collaborative design processes in new and existing buildings, a.y. 2020-2021).

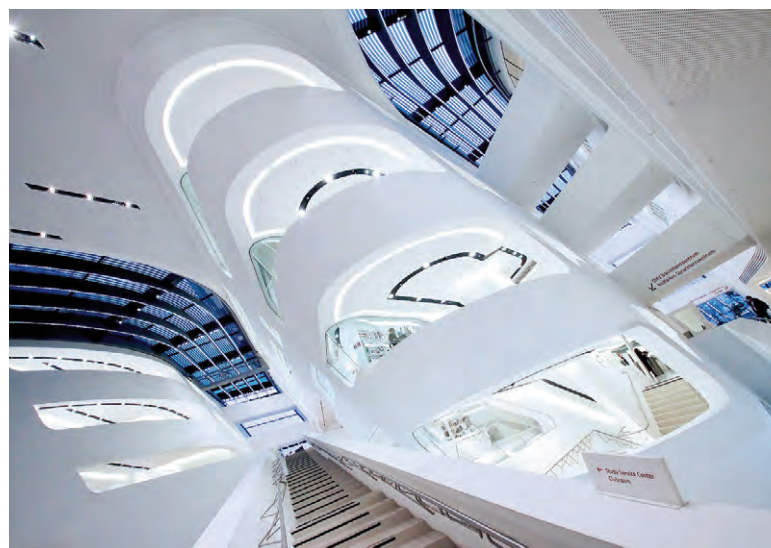


Fig. 5 | Library and Learning Centre of Vienna, a project by Zaha Hadid (credit: O Palsson, 2022).



Fig. 6 | NASA Astronaut Stephanie Wilson, STS-131 mission specialist, using a computer during a training session in the Space Shuttle simulator (SMS) at the Jake Garn Simulation and Training Facility located in the NASA Johnson Space Centre (credit: NASA/Robert Markowitz).

out the service cycle (Iadanza et alii, 2015; Torricelli, 2019). In all cases, a significant reduction in design or construction errors is achieved, simultaneously with the possibility of operating in terms of quality management of the final product.

In this context, this paper focuses on the Lean mindset and its gamification to discuss the relationship between Lean and BIM transformative methodologies for achieving project digitalisation goals in the AECO sector (Architecture, Engineering, Construction and Operation), highlighting the need for a paradigm shift based on a different cultural approach to digital innovation, through training methods with playful-didactic simulations, which could be introduced to facilitate digital transformation.

The first section of the paper recalls the main objectives of the Lean approach; this is followed by the exploration of case studies which use digital tools from a 'holistic' perspective and are oriented towards a non-traditional workflow. The paper then describes a didactic simulation which employs LEGO® as a tool for the application of two workflows, one traditional and one Lean-oriented. The concluding critical analysis and reflection discuss the advantages and shortcomings of

the application of gamified production processes. This study aims to provide an alternative view of the education of industry practitioners to attain a different understanding and experience of the AECO Industry.

BIM and Lean mindset in AECO sectors | BIM, in synergy with a Lean-oriented organisation in AECO sectors, can support the achievement of sustainability goals. First of all, by avoiding errors and thus the necessity for rework, it decreases the cost of the finished work, the amount of material used, maintenance during the service cycle, time and human resources, while also increasing the accuracy of project information, control and manageability of this information for maintenance, analysis and verification operations (Ahuja, Sawhney and Arif, 2018; Fig. 1-3). For example, the Careggi Hospital Facility in Florence implemented a BIM and GIS-based system to achieve significant energy savings in building management (Iadanza et alii, 2015). The use of 'digital twins', i.e., models that reproduce an existing object not only geometrically, but also in terms of information and performance, can be applied to a considerable variety of artefacts; in particular, in the case of hospitals, it allows for a 'holistic' vision, which is crucial for the efficient management of such a complex building.

In fact, at Careggi it is possible to visualise the entire building complex and obtain information from the various departments through an intranet management system called SACS. The system, based on vector plans uploaded into the application but subsequently updated with three-dimensional models created using ArchiCAD and Revit, can provide information on the use, equipment and occupants of a room within a ward. This organisation of information thus makes it possible to control numerous variables and to obtain spatial and logistical indications that are useful for day-to-day management operations. The system requires a massive 'dose' of programming, interoperability between systems and improved collaboration between all employees, whether they are software managers or healthcare workers.

BIM tools enable complexity management – as in the case of parametric generation (Fig. 4, 5) – of different solutions (Ridolfi and Saberi, 2019), a method widely used within the ZHCODE – Zaha Hadid Computation and Design Group. Bhooshan (2017) reports numerous case studies within the ZHCODE, arguing that the computational capability of digital tools is able to provide multiple solutions from a basic design input. The combination of algorithms derived from mathematical calculation methods – such as the Force Density Method and Thrust Network Analysis – makes it possible to derive 3D models of structures that resist external loads only through internal tensional stresses or that result in compression-only solutions. A simplified model of mere surfaces (mesh) can be processed by these specific algorithms, suggesting new shapes and indicating new structural schemes, adding, from time to time and according to parameters identified by the designer, new solutions that emphasise the energetic quality of the building or its internal layout.

This operational capability can only be leveraged through the appropriate implementation of algorithms and decision-making processes. Consequently, the multiple operational possibilities that arise with the use of pure BIM need to be associated with an integrated collaborative approach (Esposito, Donato and Bosi, 2019; Lauria and Azzalin, 2019), which envisages a paradigm shift from a traditional, individualistic type of production to a 'leaner' type of production that includes interoperability, not only between systems but also between people. This close collaboration would overcome multiple issues related to decision-making, strategy and knowledge sharing, thus achieving the sustainability goals advocated by the United Nations (UN, 2015; Ahuja, Sawhney and Arif, 2018; Maltese et alii, 2017; Sepasgozar et alii, 2021).

The Lean mindset | 'Waste' (Womack, Jones and Roos, 1990) is a key concept in the debate on digital transition and its correlation with the Lean mindset, a transformative methodology and technology closely related to BIM (Sacks et alii,

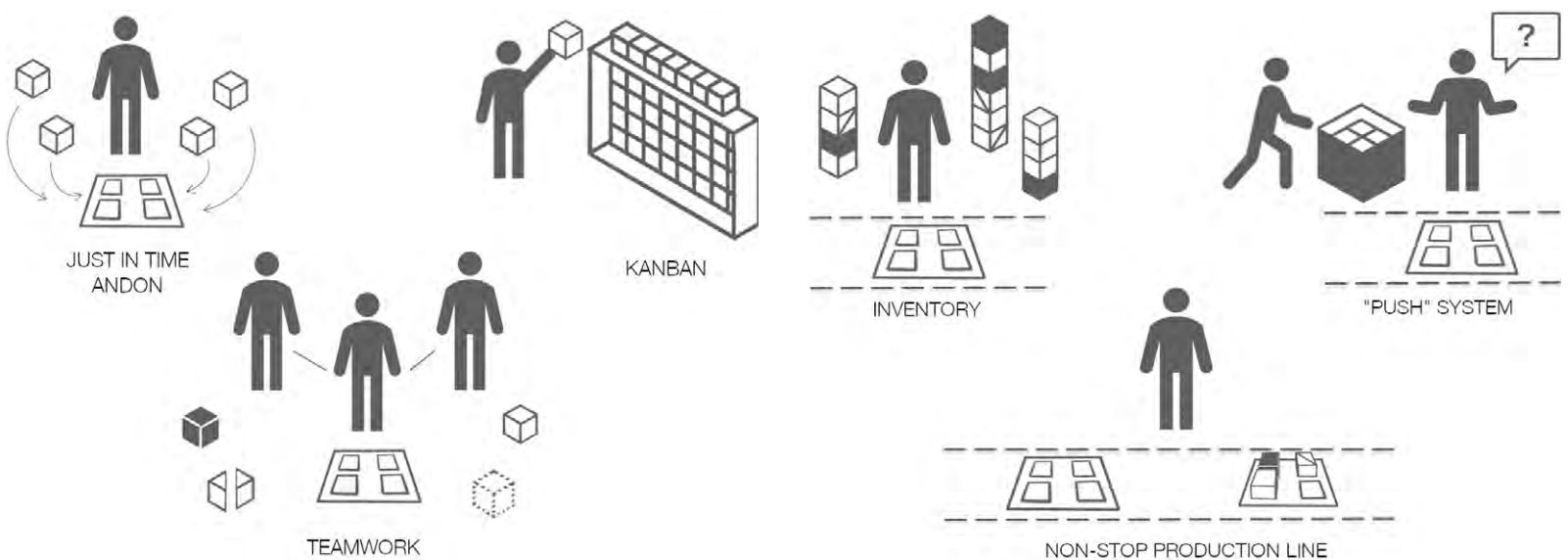


Fig. 7 | Main strategies of the Lean method for production: Just-in-Time, Andon, Kanban and collaborative work (credit: C. Ferraro, 2021).

Fig. 8 | Main characteristics of the traditional production method: enhanced warehouse, 'push' system, continuous production line (credit: C. Ferraro, 2021).

2010), and whose application consists in a series of extensively investigated strategies (Cusumano, 1985; Powell et alii, 2014; Tzortzopoulos, Kagioglou and Koskela, 2020). The Lean mindset, however, requires a period of learning and training (Leal et alii, 2017; Oesterreich and Teuteberg, 2019; Sacks et alii, 2010) with all stakeholders sharing its principles: to achieve this, one of the most innovative and effective methods consists in 'gamified' educational simulations (Aqlan and Walters, 2017; Leal et alii, 2017; Yousefi and Mirkhezri, 2020). The practical application of notions and concepts based on simulations and games is not new, as even the aeronautical and medical fields (Fig. 6) employ them due to their substantial educational value (Paraskeva, Mysirlaki and Papagianni, 2010; Beltrami, 2017).

An approach that 'shows' how things – and concepts – work, allows for their better understanding (Paraskeva, Mysirlaki and Papagianni, 2010). Per Backlund and Maurice Hendrix (2013), as well as Giorgio Beltrami (2017) report that games or 'gamified simulations' could be advantageous for learning new tools. From the perspective of the AECO Industry, 'gamified simulation' cases are numerous (Aqlan and Walters, 2017) and are designed to provide a better understanding of Lean strategies and processes, while giving immediate feedback on their benefits to learners (Fig. 7, 8).

An example of this, carried out within the framework of the University of Florence, consisted in constructing, with the help of LEGO® bricks in different colours, a series of buildings (Fig. 9, 10), whose requirements were previously defined using instruction cards. Each building component of the house was assigned a different colour, with blue bricks associated with the floors, red bricks with the walls, yellow bricks with the systems and green bricks with the roofs. The work plan was then divided into six workstations, each of which had to complete the construction of four buildings, for a total of 24 'units'. The simulation was then divided into two phases, both of predetermined duration and with a hypothetical 'delivery date': the first envisaged the application of a so-called 'traditional' production process whereas the second applied a Lean-based production process.

The 'traditional' production process saw the participants divided into as many groups as there were building components: one participant was responsible for the floors, another for the walls, and so on. Before the start of the simulation, all the key roles for the development of the production process were defined: the manager and the client were responsible for providing the various operators with the construction instructions, delivering them to the workstations, the 'crane' was in charge of the construction materials – the small bricks – to be given to the operators who requested them, and finally, quality control was in charge of timing each phase, marking delivery times, the number of completed buildings and the number of errors found in the finished 'units'. By recording a video of the session and compiling the appropriate data table, it was possible to calculate the performance for the first and second phases.

The first phase, which involved a 'traditional' construction process, featured some additional rules: the bricks could only be moved, if necessary, from one workstation to another by the

crane, and each operator could not work on the bricks that were not their direct responsibility. For example, if it was necessary to change the configuration of the walls but systems and roofing were already in place, the operator in charge of the partitions had to wait for the assigned colleagues to remove both roofing and systems. Furthermore, the fact that operators could not move resources from one workstation to another meant waiting for the figure known as the 'crane'. Once the production chain had started, the floor operators would begin to arrange the bricks needed for each workstation, requesting the necessary materials from the 'crane'. As soon as the operation was completed, they would leave the work to the partition operators, who in turn would pass the task on to the systems and so on.

However, at some point during the project, the manager and the client agreed on design variants for some buildings. The operators, therefore, had to return to the already completed buildings to modify them, resulting in considerable delays, overlaps and confusion, as some of the resources had to be manipulated by the 'crane'. Once the time set for the first phase was over and the materials were rearranged as they were at the beginning, the second phase was carried out. The Lean-based phase involved the same assumptions as the traditional production line, but with some modifications: the operators were no longer divided according to building sub-systems, but were in charge of a single location, completing the buildings associated with it in all their parts; moreover, they could pass resources to colleagues at adjacent locations, without waiting for the crane. Finally, operators did not start building immediately, but only after receiving the 'variant' during construction.

By comparing the data between the first production line and the second one, it became clear that the traditional process was more time-consuming compared to the Lean-based process, which, once optimised, was composed of activities that fully contributed to the final value of the product. In the first 'traditional' production case, the construction goals were not achieved, as some buildings were not completed and others did not correspond to the instructions; in the second case, on the other hand, all buildings were completed error-free.

During the Covid-19 pandemic, due to the inapplicability of the in-person simulation, it was necessary to experiment with a repurposed simulation for the digital environment (Fig. 11, 12), based on the previous one, thus effectively maintaining the 'traditional' and 'Lean' workflow, the construction 'instructions' and a 'workstation' within a file. This remote simulation confirmed the results of the in-person simulation. The data collected during the simulation was entered into appropriate computational tables based on Raphael Sacks et alii (2010), which were also used to calculate performance for the in-person simulation, enabling the numerical evaluation of how much a 'lean' process was superior to a traditional one (Fig. 13-15).

In particular, the Lean method, compared to the traditional method, saved around 50% of time, had a much higher productivity factor – i.e., the number of units produced per minute was significantly higher – and required less time to com-



Fig. 9 | View of the work surface featuring the 'stations' of the LEGO® bricks Lean-based simulation (credit: F. Bosi, 2015).

Fig. 10 | Lean-based simulation using LEGO® bricks: note the instruction cards in this image (credit: F. Bosi, 2015).

plete each production phase. The evidence in support of Lean-based processes suggests that this approach is the most viable one to employ in the future of the AECO sector and that it can evolve into a dynamic and flexible system of 'gamified simulations'. However, such simulations are, of course, not without critical issues: firstly, the performance calculation, which must be carried out rigorously in order to be decisive and meaningful; secondly, the active, conscious and motivated presence of many participants for it to be effective.

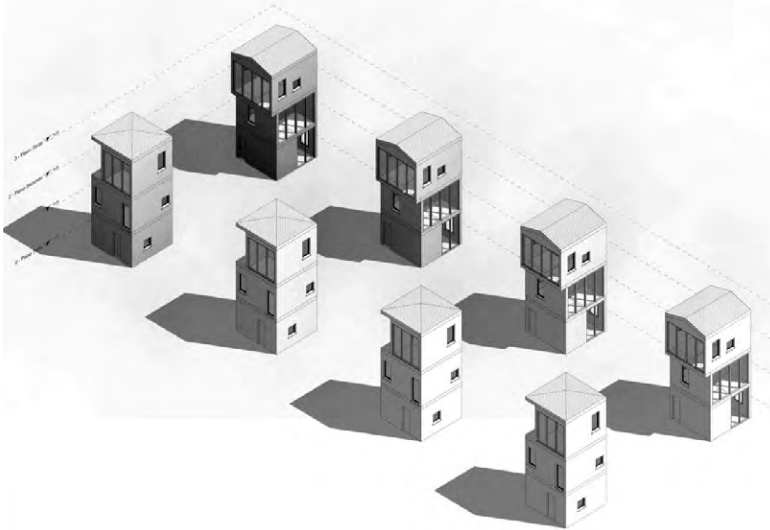


Fig. 11 | Lean-based simulation transposed in a virtual environment through BIM software (credit: C. Ferraro, 2020).

Fig. 12 | Render of the final result of the Lean-based simulation in a virtual environment (credit: C. Ferraro, 2021).

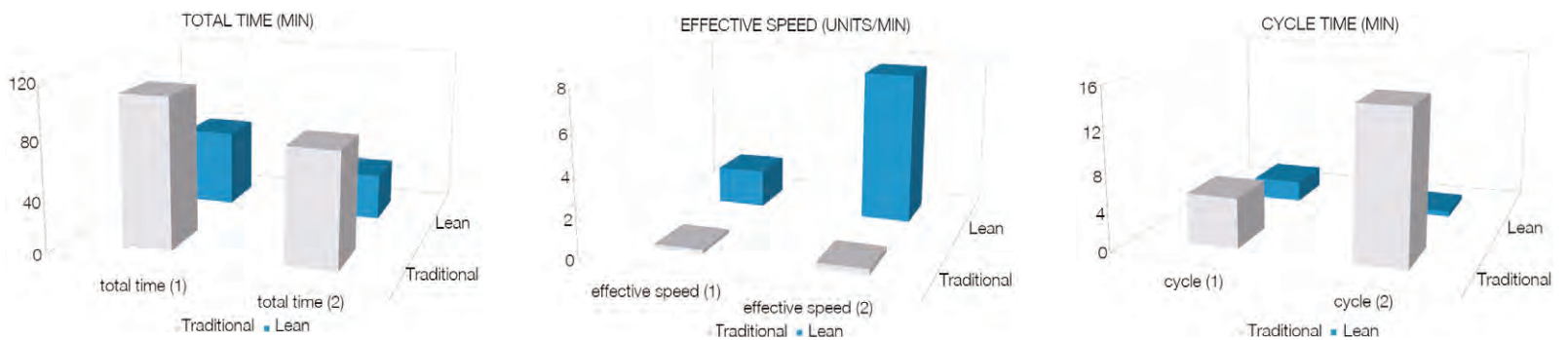


Fig. 13-15 | Simulation results by total time spent in minutes, by 'cycle time', i.e., the average time spent on each process task, and by actual speed, i.e., the number of units produced per minute (credits: II level Master's degree in BIM for the management of collaborative design processes in new and existing buildings, a.y. 2020-2021).

In conclusion, Lean and BIM simulations could prove to be an excellent aid for the education and training of industry professionals, but they must be supported by an appropriate context and motivation. Although there are in fact workshops aimed at teamwork and knowledge dissemination, they are often lacking in terms of involvement, thus undermining permanent knowledge retention. The example shown, as well as other simulations, are designed to overcome this problem. The proposal is, therefore, to employ an original, different and more advanced methodological approach in the AECO sectors, no longer merely thinking in terms of the intrinsic quality of the product, but also in terms of the efficiency of the entire process.

Discussion | Despite the encouraging findings of studies and international debate, BIM methodology and tools are still scarcely applied in the Italian context (Charef et alii, 2019). In addition to the need for specific training required to use the tools, the approach to the tool would have to be supported by a specific technological Culture, regulated by both technical and process standards (Ahuja, Sawhney and Arif, 2018). The disciplinary scientific field and related international communities should be made aware of the urgent need to employ an appropriate and enabling systemic approach to the now pervasive digital practice.

For this purpose, all those involved in the AECO sectors should share a common vision that values the training of individual operators as a central aspect (Ahuja, Sawhney and Arif, 2018), which must also cover socio-technical organisational and process aspects, precisely through the educational simulations as previously described. The main advantage of a Lean simulation in the AECO sector is to assess workflows from a broader perspective and to be able to fully understand the difference between possible workflows, enabling a judicious and informed choice of the best alternative.

The main critical issues, however, can be found not only in the substantial expenditure of resources towards the training of central figures in the use of both BIM and Lean processes but also in the elaboration and application of these simulations to the relevant sectors, implying, in fact, the consequent training of expert figures dedicated to the development of effective and transversal gamified simulations. Nonetheless, the required considerable investment in continuous training and constant improvement in technology and methodology could provide the opportunity for 'integrated' projects at all levels.

Conclusions | It seems advisable to apply new strategies to general construction, training, professional development, building construction and management, and the development of alternative

workflows. New strategies for sustainability would benefit greatly from the application of serious learning and gamified simulations. Serious Gaming contributes to bringing the necessary knowledge into the sector through new learning methodologies, accelerating the innovation process. A gamified approach to construction and/or industrial processes could be considered 'puerile' and opposed by those who believe that it is necessary to practice directly on real-life cases. However, the immature application of specific knowledge may prove costly. Just as pilots, astronauts and surgeons train for years in appropriate simulation chambers, the architect or designer should also test the suitability of their designs in an environment that admits error.

It is, therefore, necessary to overcome prejudices that prevent the interpenetration of seemingly unrelated sectors and absorb those elements most useful for innovation and the development of architectural practice. Leveraging the sectors of gamification, educational simulations and – why not – even entertainment could open multiple doors towards a new frontier of education and awareness of the AECO sector towards digitalisation. Perhaps it is time to embrace the idea that a 'gamified' approach to concepts can enhance learning for all, while also making it more accessible. Gamified Lean, combined with the computational capabilities of BIM, would thereby unlock new and promising design frontiers.

Acknowledgements

This contribution is the result of a common reflection of the authors. Nevertheless, the introduction and the paragraphs ‘Discussion’ and ‘Conclusions’ have to be attributed to M. A. Esposito, the paragraph ‘The Lean mindset’ to F. Bosi and the paragraph ‘BIM and Lean mindset in the AE-CO sectors’ to C. Ferraro.

Notes

- 1) For more details on the European Directive 2014/24 EU BIM, see Art. 22 para. 4 see the webpage: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0024&from=EN [Accessed 30 September 2022].
- 2) For more details on Ministerial Decree 560/2017 see the webpage: mit.gov.it/nfsmitgov/files/media/normative/2018-01/Decreto%20Minister%20MIT%20n.%20560%20del%201.12.2017.pdf [Accessed 30 September 2022].
- 3) For further information on Ministerial Decree 312/2021 see the webpage: mit.gov.it/nfsmitgov/files/media/normative/2021-08/DM_2021-08-02_BIM.pdf [Accessed 30 September 2022].
- 4) For further details, see in particular Article 6, p. 4 of Ministerial Decree 312/2021, available at the following webpage: mit.gov.it/nfsmitgov/files/media/normative/2021-08/DM_2021-08-02_BIM.pdf [Accessed 9 October 2022].
- 5) For more information on Regulation 207/2010, the full text is available at: gazzettaufficiale.it/eli/id/2010/12/10/010G0226/sg [Accessed 9 October 2022].
- 6) For more details on Law Decree 32/2019, otherwise known as the ‘Decreto sblocca cantieri’, see the webpage: gazzettaufficiale.it/eli/id/2019/04/18/19G00040/sg [Accessed 9 October 2022].
- 7) For more details on the ANAC Guidelines, please consult the following webpage: anticorruzione.it/documents/91439/2615526/Documento+di+Consultazione+-+Linee+Guida+n+9.pdf/5f58e1a8-37ab-c602-6d17-82a3d231349c?t=1635150040847 [Accessed 9 October 2022].

References

Ahuja, R., Sawhney, A. and Arif, M. (2018), “Developing organizational capabilities to deliver lean and green project outcomes using BIM”, in *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 25, n. 10, pp. 1255-1276. [Online] Available at: doi.org/10.1108/ECAM-08-2017-0175 [Accessed 30 September 2022].

Aqlan, F. and Walters, E. G. (2017), “Teaching Lean Principles through Simulation Games”, in *2017 ASEE Annual Conference & Exposition Proceedings*, paper 19069, pp. 1-13. [Online] Available at: doi.org/10.18260/1-2--28921 [Accessed 30 September 2022].

Backlund, P. and Hendrix, M. (2013), “Educational games – Are they worth the Effort? – A literature survey of the effectiveness of serious games”, in *2013 5th International Conference on Games and Virtual Worlds for Serious Applications (VS-GAMES)*, pp. 1-8 [Online] Available at: doi.org/10.1109/VS-GAMES.2013.6624226 [Accessed 30 September 2022].

Beltrami, G. (2017), *Lego® Serious Play® pensare con le mani – Valore per le persone, valore per le organizzazioni*, FrancoAngeli, Milano.

Bhooshan, S. (2017), “Parametric design thinking – A case-study of practice-embedded architectural research”, in *Design Studies*, vol. 52, pp. 115-143. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.destud.2017.05.003 [Accessed 30 September 2022].

Charef, R., Emmitt, S., Alaka, H. and Fouchal, F. (2019), “Building Information Modelling adoption in the European Union – An overview”, in *Journal of Building Engineering*, vol. 25, article 100777, pp. 1-13. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jobbe.2019.100777 [Accessed 30 September 2022].

Esposito, M. A., Donato, A. and Bosi, F. (2019), “BIM e Pratiche Collaborative – Abilità e Competenze per l’Ambiente Digitale | BIM and Collaborative Practices – Expertise

and Skills from the Digital Environment”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 5, pp. 51-58. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/562019 [Accessed 30 September 2022].

Iadanza, E., Turillazzi, B., Terzaghi, F., Marzi, L., Giuntini, A. and Sebastian, R. (2015), “The Streamer European Project, Case Study – Careggi Hospital in Florence”, in Lacković, I. and Vasic, D. (eds), *6th European Conference of the International Federation for Medical and Biological Engineering – IFMBE Proceedings*, vol. 45, Springer, Cham, pp. 649-652. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-319-11128-5_162 [Accessed 30 September 2022].

Kuliga, S. F., Thrash, T., Dalton, R. C. and Holscher, C. (2015), “Virtual reality as an empirical research tool – Exploring user experience in a real building and a corresponding virtual model”, in *Computers, Environment and Urban Systems*, vol. 54, pp. 363-375. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2015.09.006 [Accessed 30 September 2022].

Cusumano, M. A. (1985), *The Japanese Automobile Industry – Technology and Management at Nissan and Toyota*, Harvard University Asia Center, Harvard University. [Online] Available at: doi.org/10.2307/j.ctt1tg5kpw [Accessed 30 September 2022].

Lauria, M. and Azzalin, M. (2019), “Progetto e manutenibilità nell’era di Industria 4.0 | Project and maintainability in the era of Industry 4.0”, in *Techne | Journal of Technology for Architecture and Environment*, vol. 18, pp. 184-190. [Online] Available at: doi.org/10.13128/techne-7525 [Accessed 30 September 2022].

Leal, F., Martins, P. C., Torres, A. F., de Queiroz, J. A. and Montevechi, J. A. B. (2017), “Learning lean with lego – Developing and evaluating the efficacy of a serious game”, in *Production*, vol. 27 (special issue), e20162227, pp. 1-15. [Online] Available at: doi.org/10.1590/0103-6513.222716 [Accessed 30 September 2022].

Maltese, S., Moretti, N., Re Cecconi, F., Ciribini, A. L. C. and Kamara, J. M. (2017), “Un approccio semplificato per la valutazione di sostenibilità dell’ambiente costruito attraverso il BIM | A Lean Approach to Enable Sustainability in the Built Environment through BIM”, in *Techne | Journal of Technology for Architecture and Environment*, vol. 13, pp. 278-286. [Online] Available at: doi.org/10.13128/Techne-19743 [Accessed 30 September 2022].

Oesterreich, T. D. and Teuteberg, F. (2019), “Behind the scenes – Understanding the socio-technical barriers to BIM adoption through the theoretical lens of information systems research”, in *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 146, pp. 413-431. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.techfore.2019.01.003 [Accessed 30 September 2022].

Paraskeva, F., Mysirlaki, S. and Papagianni, A. (2010), “Multiplayer online games as educational tools – Facing new challenges in learning”, in *Computers and Education*, vol. 54, issue 2, pp. 498-505. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.compedu.2009.09.001 [Accessed 30 September 2022].

Powell, D., Strandhagen, J. O., Tommelein, I., Ballard, G. and Rossi, M. (2014), “A New Set of Principles for Pursuing the Lean Ideal in Engineer-to-order Manufacturers”, in *Procedia CIRP*, vol. 17, pp. 571-576. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.procir.2014.01.137 [Accessed 30 September 2022].

Ridolfi, G. and Saberi, A. (2019), “Intelligenze Computazionali nel Progetto post-Ambientale – Esempi da MAILAB | Computational Intelligences in the post-Environmental Design – Examples from MAILB”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 5, pp. 31-40. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/542019 [Accessed 30 September 2022].

Sacks, R., Koskela, L., Dave, B. A. and Owen, R. (2010), “Interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction”, in *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 136, issue 9, pp. 968-980. [Online] Available at: [doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000203](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000203) [Accessed 30 September 2022].

Sepasgozar, S. M. E., Hui, F. K. P., Shirowzhan, S.,

Foroozanfar, M., Yang, L. and Aye, L. (2021), “Lean Practices using Building Information Modeling (BIM) and Digital Twinning for Sustainable Construction”, in *Sustainability*, vol. 13, issue 1, pp. 1-22. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su13010161 [Accessed 30 September 2022].

Stocking, A. W. (2016), “How New Video-Game-Inspired Tools Are Redefining Post Occupancy Evaluation”, in *Archdaily*, 01/11/2016. [Online] Available at: archdaily.com/798512/how-new-video-game-inspired-tools-are-redefining-post-occupancy-evaluation [Accessed 30 September 2022].

Tagliabue, L. C., Ventura, S. M., Teizer, J. and Ciribini, A. L. C. (2021), “A Serious Game for Lean Construction Education Enabled by Internet of Things”, in Mealha, Ó., Rehm, M. and Rebedea, T. (eds), *Ludic, Co-design and Tools Supporting Smart Learning Ecosystems and Smart Education – Proceedings of the 5th International Conference on Smart Learning Ecosystems and Regional Development*, pp. 225-233. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-981-15-7383-5_19 [Accessed 30 September 2022].

Torriceili, M. C. (2019), “MON.LAB AOU-CAREGGI – Monitoring lab – ICT systems for building management support”, in *DIDA Research Week book 2018*, pp. 736-737, [Online] Available at: flore.unifi.it/handle/2158/1176208 [Accessed 30 September 2022].

Tzortzopoulos, P., Kagioglou, M. and Koskela, L. (2020), *Lean Construction – Core Concepts and New Frontiers*, Routledge, Taylor & Francis Group.

UN – General Assembly (2015), *Transforming our world – The 2030 Agenda for Sustainable Development*, document A/RES/70/1. [Online] Available at: sdgs.un.org/documents/ares701-transforming-our-world-2030-agen-21254 [Accessed 30 September 2022].

Womack, J. P., Jones, D. T. and Roos, D. (1990), *The machine that changed the world*, Rawson Associates, New York.

Yousefi, B. H. and Mirkhezri, H. (2020), “Lean Gamification Canvas – A New Tool for Innovative Gamification Design Process”, in *2020 International Serious Games Symposium (ISGS)*, pp. 1-9. [Online] Available at: doi.org/10.1109/ISGS51981.2020.9375297 [Accessed 30 September 2022].

DATA-DRIVEN LCA PER L'INNOVAZIONE INDUSTRIALE GREEN DELLE FACCIATE CONTINUE CUSTOMIZZATE

DATA-DRIVEN LCA FOR GREEN INDUSTRIAL INNOVATION OF CUSTOM CURTAIN WALLS

Theo Zaffagnini, Luca Morganti

ABSTRACT

L'ottimizzazione e la gestione avanzata del design, dell'ingegnerizzazione e della produzione edilizia al fine di massimizzarne le prestazioni ambientali rientrano fra le innovazioni facilitate dagli strumenti della transizione digitale. In questo contesto, il saggio inquadra e propone l'integrazione di peculiari dati informatici nella valutazione del ciclo di vita del prodotto industriale. Vengono qui esposti gli attuali limiti delle pratiche di Life Cycle Assessment nel settore della prefabbricazione di cellule customizzate per facciate continue e come questi possano essere superati da un approccio data-driven integrato con le piattaforme e i software specifici utilizzati dalle aziende. Ciò al fine di stimolare un'innovazione sostenibile e resiliente e un avvicinamento tra la ricerca informazionale con la produzione industriale e i suoi processi organizzativi.

The optimization and advanced management of design, engineering, and building construction, aimed at the maximization of environmental performance, are among the innovations facilitated by the tools of the digital transition. In this context, this study focuses on and proposes the integration of peculiar IT data in the life cycle assessment of industrial products. The present paper also outlines the current limitations of Life Cycle Assessment practices concerning the prefabrication of custom modules for curtain walls and how these limitations can be overcome through a data-driven approach, integrated with specific platforms and software used by companies. The aim is to foster sustainable and resilient innovation, bridging the gap between information research, and industrial production and its organizational processes.

KEYWORDS

facciata continua a cellule prefabbricate, LCA, modello semantico dei dati per LCA, software di gestione industriale, transizione green e circolare

curtain wall with prefabricated modules, LCA, semantic data model for LCA, industrial management software, green and circular transition

Theo Zaffagnini, Architect and PhD, is an Associate Professor at the Department of Architecture of the University of Ferrara (Italy). He conducts research in the field of Architectural Technology, mainly on the themes of technological and digital innovation of building processes, and sustainability aspects in architectural construction. Mob. + 39 347/36.35.290 | E-mail: theo.zaffagnini@unife.it

Luca Morganti, Architect, is a PhD Candidate in the International Doctorate in Architecture and Urban Planning at the University of Ferrara (Italy), with Focchi SpA as an industrial partner. His research activities focus on the green transition in the industry of prefabricated curtain walls for the promotion of circular and sustainable development. Mob. +39 333/57.78.977 | E-mail: luca.morganti@unife.it



Come venire a patti con la nostra inaspettata, senza precedenti e quasi miracolosa opulenza di dati di cui spesso non sappiamo cosa fare (Carpo, 2017) è parte del ragionamento dominante che sta caratterizzando la transizione digitale contemporanea. La possibilità di sfruttare tali dati per favorire uno sviluppo socialmente, economicamente e soprattutto ecologicamente sostenibile è ormai un tema centrale del dibattito internazionale. Il digitale rappresenta infatti un dispositivo tecnico e culturale che può consentire l'individuazione di nuovi approcci metodologici di interpretazione dei dati per la gestione del processo edilizio (Rigillo, Russo Ermolli and Galluccio, 2021) da un punto di vista costruttivo, normativo e ambientale.

Siamo nell'ambito di quelle rilevanti trasformazioni che stanno orientando la cultura tecnologica della progettazione di questi anni; una confluenza di grandi temi su cui la comunità scientifica, in modo inter-scalare e secondo articolate direzionalità, si sta confrontando: cambiamenti climatici, quarta rivoluzione industriale, sostenibilità e resilienza. Si tratta infatti della visione di uno scenario attuativo capace di considerare e mettere a sistema le recenti trasformazioni avvenute nei processi di progettazione e di produzione, ideato al fine di affrontare quella «[...] incertezza di tipo epistemico, dovuta all'impossibilità di creare modelli della realtà sufficientemente e adeguatamente definiti a causa dell'incompletezza della nostra conoscenza» (Campioli, 2017, p. 30). Una sfida che si fa carico delle note incertezze indotte dal mercato (di settore), dall'organizzazione e gestione della costruzione, dall'adeguatezza del livello di sostenibilità ambientale delle trasformazioni programmate, fino al reale comportamento prestazionale del costruito e alla rispondenza del ciclo di vita previsto (tra le altre).

Un momento non solo di transizione verso approcci operativi più attuali e di convergenza tra innovazioni materiali e immateriali, ma di riconsiderazione contestuale del perimetro degli apporti scientifici in questo quadro d'insieme. Sviluppi che, come si potrà apprezzare in seguito, paiono orientati in modo ambivalente sia verso le tecnologie forti (hard) della produzione industriale che verso i processi guida informativi (soft)¹, secondo una classificazione dei primi anni Settanta che mirava in qualche modo a rendere maggiormente riconoscibili gli ambiti di azione, gli apporti culturali e le ricadute pragmaticamente operative per l'industria della nuova compagine scientifica disciplinare della tecnologia che si stava coagulando.

Premesso che il dibattito circa la collocazione prioritaria degli interessi della comunità scientifica tecnologica verso uno di questi due perimetri di azione – hard e soft – sembra ancora aperto (Antonini, 2013), si ritiene interessante approfondire nuovi potenziali ambiti di ricerca, con uno sguardo attento sia alle necessità di nuovi strumenti guida sia alle istanze peculiari dei destinatari di tali azioni di governo del progetto (e/o della produzione).

Nell'attuale scenario generale di transizione digitale (indissociabile dalle istanze di emergenza climatica) ci si prefigge di indagare e proporre un approccio originale basato sull'analisi di dati peculiari e finalizzato a strategie Life Cycle Thinking, obiettivo questo possibile grazie ai nuovi strumenti digitali interoperabili improntati a contemplare un nuovo tipo di esigenze, oltre che a fornire suppor-

to per azioni predittive per il miglioramento di soluzioni sostenibili e resilienti. Nel caso specifico si tratta di un framework fra strumenti informatici industriali mirato all'innovazione tecnologica, all'ottimizzazione e alla gestione avanzata delle risorse e del processo produttivo nel settore delle facciate continue.

Oltre a ciò, questo studio si prefigge di evidenziare scenari di fattibilità dell'approccio presentato, reso possibile dall'integrazione tra software e piattaforme di data management con modelli di valutazione dell'impatto ambientale come il Life Cycle Assessment (LCA), al fine di supportare azioni sostenibili sul ciclo di vita del prodotto industriale. In seguito a questo inquadramento introduttivo si presenterà un'analisi dello stato dell'arte degli ambiti trattati, partendo dalla presentazione del contesto scientifico-produttivo di riferimento e delle relative pratiche di LCA (industriali e sinergiche con tecnici progettisti e specialisti). Ci si propone di analizzarne criticamente gli aspetti salienti, le criticità e i limiti da superare; inoltre, si definiscono gli obiettivi connotanti l'approccio innovativo qui proposto.

A seguire sono brevemente descritti e confrontati criticamente alcuni approcci data-driven di valutazione ambientale già sperimentati in edilizia e vengono anche presentati i modelli e gli strumenti attraverso cui si ritiene che le implicazioni pratiche/funzionali dei data-driven LCA possano essere utili in questo e in altri potenziali contesti del settore delle costruzioni. In conclusione verrà proposta una lettura critica dei vantaggi e delle ricadute degli stessi per l'industria e per la disciplina Tecnologica.

Know-how del LCA delle facciate continue customizzate a cellule prefabbricate

La comunità scientifica che si occupa dell'affinamento del LCA, al pari dell'industria in piena transizione ecologica attraverso i propri dipartimenti di R&D, è alla costante ricerca di affidabili modelli innovativi per affinare, velocizzare, controllare e validare i processi esistenti. In quest'ottica i ragionamenti che seguono si riferiscono allo specifico contesto della progettazione, produzione, installazione e recupero di sistemi a cellule customizzate e prefabbricate per facciate continue ad alto contenuto tecnologico (Figg. 1-11).

Questo ambito, così come altri di prefabbricazione di sistemi e componenti edilizi, beneficia dei noti vantaggi ambientali offerti dalla preparazione e dall'assemblaggio fuori opera in stabilimenti produttivi specializzati e controllati. Tale caratteristica infatti prevede che i sistemi realizzati nell'ambito di questi processi siano mediamente più sostenibili di altri analoghi non prefabbricati, a seconda della distanza fra sito produttivo e cantiere, dei requisiti e delle tempistiche di progetto e delle circostanze in cui verte il mercato dei materiali e delle componenti per costruzioni (Pons, 2014). Tuttavia, la quantificazione e la verifica di questi vantaggi per organismi complessi e customizzati è tuttora oggetto di ricerca e dibattito a causa di una spesso eccessiva approssimazione e di insufficienti benchmark di riferimento.

Politiche internazionali volte allo sviluppo sostenibile e alla mitigazione del global warming stanno portando chi opera in questi mercati a occuparsi maggiormente dell'analisi ambientale dei

propri prodotti. Per quanto siano ancora limitati gli atti che ne costringono l'implementazione, l'Unione Europea sta adottando sempre più riferimenti al Life Cycle Thinking (LCT) e al LCA nelle sue comunicazioni e nelle sue policy (Sala et alii, 2021). Ciò, seppur indice di un pragmatico interesse nell'incentivare uno sviluppo sostenibile, costituisce una sfida rilevante per l'industria delle facciate architettoniche customizzate, in quanto ogni cellula, avendo caratteristiche uniche e non ripetibili, necessita di analisi puntuali ex-novo in mancanza di adeguate Product Category Rules.

La richiesta degli stakeholders (tra cui general contractor e clienti) di verificare target di sostenibilità, come i Science Based Targets (SBTs) o di altri sistemi di valutazione ambientale (del tipo LEED e BREEM), sta rendendo sempre più pressante l'esigenza industriale di dotarsi di una strategia digitale per l'analisi automatizzata e interoperativa dei dati in grado di valutare i propri manufatti, in tempi utili alle dinamiche di mercato e con la massima precisione possibile.

Viste tali articolate premesse, riferibili a questa specifica realtà produttiva, è proprio con la transizione digitale che si prospettano interessanti evoluzioni pratiche per la gestione delle citate criticità dell'impresa. Per ottenere questi risultati si ritiene utile la concezione di un nuovo framework di database che permetta alle varie divisioni aziendali in possesso di dati utili al LCA (uffici qualità, uffici tecnici, etc.) una condivisione in tempo reale con altri utilizzatori di quei dati (uffici gare, project e design manager, etc.), al fine di avere una disponibilità sempre aggiornata nel momento di consultazione del dato. L'obiettivo finale di questo passaggio è la creazione di condizioni ottimali per relazionare automaticamente i dati tra le piattaforme già in uso nell'industria, in particolare tra software di Enterprise Resource Planning (ERP)² e di Product Lifecycle Management (PLM)³, tra piattaforme Common Data Environment (CDE), e altri eventuali peculiari database aziendali specialistici. La finalizzazione di questa sinergia strumentale, consistente in un data-driven LCA, fornirebbe:

- la possibilità di quantificare l'impatto ambientale del prodotto, così come definito dalla norma ISO EN 14040:2006 tramite Life Cycle Impact Assessment (LCIA), e la simultanea valutazione di altri parametri richiesti dal mercato, come la conformità con percentuali minime di materiali riciclati o la reperibilità di Environmental Product Declarations (EPDs) degli elementi che compongono la cellula prefabbricata; l'importanza di questo passaggio risiede nella rilevanza delle informazioni funzionali all'ottenimento di certificazioni ambientali in riferimento alle norme ISO 14021:2016 ed EN 15978:2011 e/o compatibili con altri sistemi di valutazione internazionali;
- il supporto decisionale a scelte strategiche green in fase di progetto, di ingegnerizzazione, di produzione, di pianificazione logistica, di valutazione della catena di fornitura, assemblaggio e infine di disassemblaggio, ciò grazie alla possibilità di valutare preventivamente l'impatto delle varie operazioni alternative per il raggiungimento dell'obiettivo prefissato; considerazioni queste di altri difficili valutazioni attraverso i modelli convenzionali di LCA;
- il supporto all'ideazione di strategie (nuove e virtuose) per il fine vita delle facciate per favorire la transizione e innovazione circolare (Viscuso, 2021).

Il framework operativo proposto permetterebbe inoltre di ri-perimetrare i principali limiti dei metodi in uso per il LCA rilevati sia dalla comunità scientifica che dagli operatori industriali. Fra questi troviamo, ad esempio, l'insufficiente supporto a scenari 'what if', l'attualmente scarsa possibilità di integrazione con modelli BIM e la totale mancanza di informazioni in funzione del tempo per la gestione dell'End of Life (EoL) stage (Fnais et alii, 2022). L'uso dello stesso consentirebbe infatti di valutare diversi scenari operativi in base all'impatto ambientale e alle possibilità di EoL (in fase di progetto), e di aggiornare costantemente la valutazione durante l'avanzamento della commessa per la verifica dei requisiti. Tutto ciò attingendo a dati primari progettuali (dal modello BIM, dai software ERP e PLM) e ambientali, ottenuti dalle misurazioni dirette dell'impatto delle lavorazioni o ricavati dalle specifiche EPD dei materiali impiegati.

L'utilizzo di dati primari per queste analisi rappresenta un aspetto fondamentale per la precisione e la spendibilità del LCA (Silva et alii, 2020) e l'integrazione dell'analisi con un modello BIM, seppur ancora limitata, garantisce una tracciabilità totale delle cellule per la progettazione e l'ideazione dell'EoL (Llatas, Soust-Verdaguer and Passer, 2022). I modelli BIM, inoltre, offrono notevoli possibilità di integrazione con database e sono oggetto di sempre più frequenti studi volti all'ideazione di soluzioni manuali, semiautomatiche, e re-

centemente, anche automatiche di scambio dati (Safari and AzariJafari, 2021).

I risultati di questa analisi potrebbero a consuntivo essere visualizzati da manager e tecnici tramite dashboard generate da software di Business Intelligence (BI) o direttamente dal modello BIM, potenzialmente riconducibile a un Digital Twin della facciata ove sufficientemente sviluppato (caricato su una piattaforma CDE), quando collegato al framework operativo ideato. Un'ulteriore versatilità di questo approccio, a vantaggio dell'utilizzatore finale, risiede nella sua capacità di asservire la realizzazione di dashboard capaci di operare la valutazione contestuale di diverse opzioni costruttive integrando l'analisi di Life Cycle Costing (LCC) con il LCA (Zeng, Chini and Ries, 2020).

Ricognizione comparativa di alcuni modelli data-driven già sperimentati in edilizia | Negli

ultimi anni si sono progressivamente diffusi numerosi software per la realizzazione di LCA di prodotti edilizi, anche sotto forma di plug-in specifici per software BIM. Questi sistemi, tuttavia, risentono ancora in larga parte dei limiti precedentemente descritti e della possibilità di gestire dati primari con uno strumento all-in-one e interoperativo. Un raffronto tra le possibilità offerte dai principali software, stand alone e BIM plug-in offerti dal mercato e il modello proposto è presentato nella Tabella 1.

Recentemente approcci e strumenti data-driven, più sofisticati di quelli presenti sul mercato, iniziano a essere oggetto di ricerche scientifiche multi-scalari del settore edilizio e ambiscono a proporre modelli attuativi sfruttando le potenzialità dei software già diffusi. Tra questi, a seguire, si segnalano alcuni interessanti casi studio e buone pratiche, validati da ricerche e sperimentazioni sul campo, in cui i modelli attuativi adottati offrono spunti coerenti e funzionali per il modello originale che si va qui a proporre.

Un primo esempio riguarda l'ambito di soluzioni manuali e automatizzate per la condivisione dei dati con modelli BIM. Relativamente a questo tipo di approccio è certamente interessante da analizzare lo studio per l'impostazione di un modello di dati per la valutazione automatica BIM-based presentato da Jan Ružicka (et alii, 2022). Questo studio si basa sull'analisi e la verifica dei possibili workflow e prevede l'integrazione dei dati BIM per la valutazione del Complex Building Quality Assessment. Lo schema riassuntivo del workflow di questo approccio è sintetizzato nella Figura 12.

Altro esempio di modelli alternativi è rappresentato da due casi di modelli data-driven per la valutazione delle performance energetiche del costruito. In questo specifico ambito è interessante ai fini del presente studio il lavoro proposto da Jacopo Famiglietti e da un gruppo di ricerca del Politecnico di Milano (Famiglietti et alii, 2022). In que-

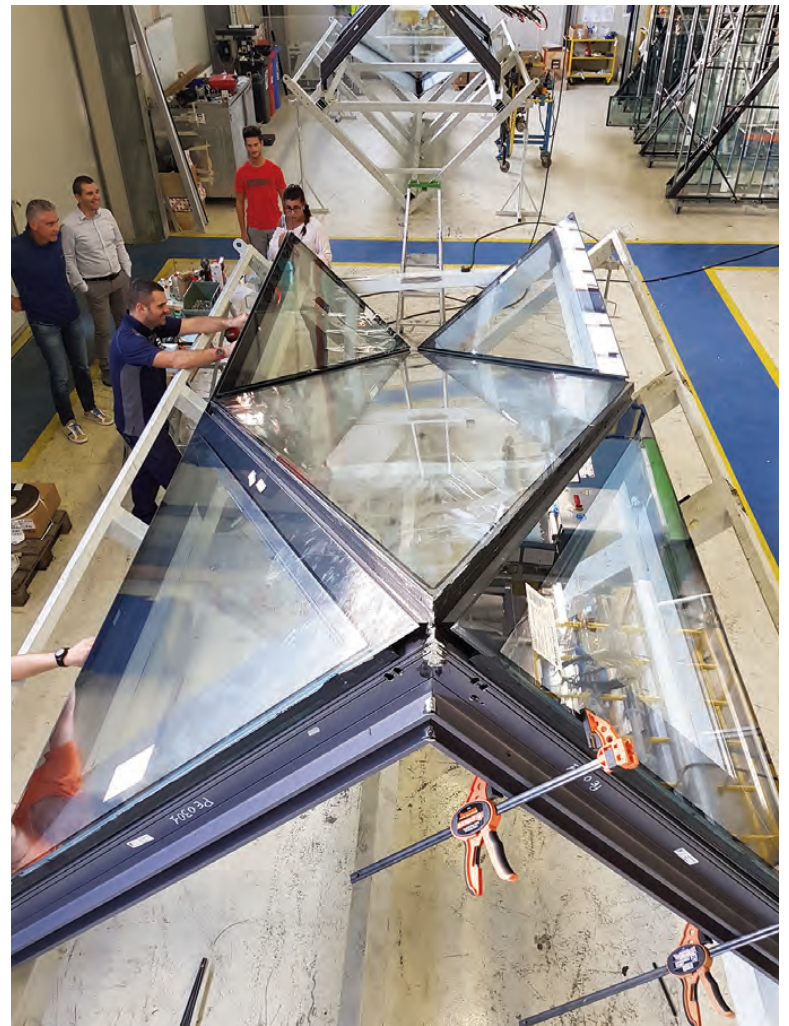


Fig. 1 | In-line production of curtain wall modules (credit: G. Salvatori, 2015).

Fig. 2 | Lean production of curtain wall modules (credit: Focchi SpA, 2017).

sto caso è stato sviluppato in Python un data-driven tool per la valutazione ambientale LCIA della fase d'uso di edifici a scala urbana, scenario per cui i software di valutazione in commercio non sono al momento ottimizzati. Sempre riguardo a questo aspetto, in seguito a una revisione sistematica, Venkatraj e Dixit (2022) hanno evidenziato potenziali soluzioni, direzioni future e opportunità di ricerca per i data-driven Life Cycle Energy Assessment.

È interessante notare come in entrambi i lavori citati il workflow dei dati per la realizzazione di queste valutazioni si suddivide in tre step (Fig. 13): 1) preparazione e collezione dei dati; 2) ricezione dei dati per il LCI come parametri di input e computazione ambientale dei sistemi energetici, in mancanza di metodologie standardizzate; 3) valutazione a livello di edificio, presentazione dei risultati, restituzione della valutazione, rappresentatività temporale ed eventuale import di dati a valle del processo.

Il confronto tra questi workflow attuativi (quello in tre fasi per la valutazione energetica e quello integrato con modelli BIM) con il modello originale proposto (ideato in seguito allo studio delle possibilità offerte dai software aziendali più diffusi e consolidati, e delle necessità delle compagini produttive) ha portato all'affinamento di un approccio data-driven per questo specifico settore.

Il workflow che di seguito si propone per l'utilizzo di dati primari per il LCA delle cellule di facciata prevede un'innovazione finalizzata al superamento dei limiti dei modelli precedenti, un avanzamento possibile in ragione dell'implementazione delle informazioni contenute nel modello BIM della facciata e nei software PLM e ERP aziendali per la computazione dei dati di progetto e l'utilizzo di database interni per i dati ambientali seguendo tre distinte sezioni attuative (Fig. 14). Un modello informativo così organizzato consente infatti una valutazione efficiente delle diverse strategie progettuali, una loro verifica in real-time durante l'avanzamento del processo produttivo e una maggiore qualità del progetto finale, oltre che favorire l'evoluzione di metodologie LCA colmandone le lacune evidenziate.

Possibili scenari operativi, tra benefici e criticità, per la gestione avanzata dei dati di processo | Pare opportuno a questo punto entrare nel merito delle modalità con cui questi obiettivi possono essere raggiunti attuando il modello illustrato dalle compagini produttrici di facciate architettoniche prefabbricate customizzate. Il modello innovativo proposto in questo lavoro si fonda sull'applicazione seriale dei seguenti metodi (Fig. 15): 1) l'indagine delle informazioni necessarie per rispondere al mercato e ambire al raggiungimento dei Science-Based Targets (SBTs); 2) la definizione dei possibili flow chart per il Life Cycle Inventory (LCI) delle singole operazioni unitarie che compongono i processi produttivi oggetto di studio, e dei dati ambientali e di progetto necessari per il LCA; 3) la scomposizione e analisi delle commesse, allo scopo di identificare quali comparti aziendali gestiscono i dati utili al LCA (e altri dati richiesti) e quali richiedono quei dati; 4) la definizione del framework operativo dei dati utilizzando le informazioni contenute nei software gestionali in uso, secondo i requisiti e le informazioni analizzate (e valutazione di necessarie integrazioni); 5) l'at-

tuazione e l'organizzazione informatica dell'input e dell'output dei dati predisponendo le modalità di condivisione; 6) la messa in funzione del sistema di interazione e condivisione automatica dei dati.

Si evince come la definizione dei dati e la loro lavorabilità risulti essere la parte centrale di questi metodi. Per questo il primo passaggio prevede la raccolta dei target analitici necessari per analizzare il prodotto in base agli obiettivi e allo scopo di progetto (ad esempio categorie di impatto del LCIA, requisiti dei Rating System più diffusi, certificazioni richieste dai clienti): gerarchizzare questi parametri contribuisce alla valutazione di road map sostenibili a breve e a lungo termine. Successivamente devono essere individuati i punti in cui i dati di analisi sono reperibili direttamente da software e database aziendali (primari), o in alternativa dalla letteratura e da banche dati (dati secondari), o come definirli sulla base di stime e valori medi (dati terziari).

La possibilità di estrarre dati, dai gestionali ERP, oltre che da software BIM, porterebbe a risolvere in buona parte i limiti della pratica di LCA dovuti alla complessità dei modelli digitali delle facciate. Qui è tuttavia necessaria la previsione di una fase attuativa in cui definire l'unità funzionale ideale per confrontare le operazioni unitarie e gli elementi costruttivi con i parametri di conversione nel loro impatto in riferimento al LCIA (i dati dovranno necessariamente essere normalizzati in base alle unità funzionali individuate). A conclusione del processo, seguirà la fase attuativa in cui tecnici informatici possono rendere operativo il framework ideato applicando i metodi precedentemente descritti. Il modello adottato sarà così verificabile e iterativo grazie all'affinamento ottenuto dai feedback degli operatori.

I limiti di questo approccio sono soprattutto di natura tecnica. Fra questi troviamo la ragionevole necessità di acquisizione di software di BI o di CDE (qualora l'azienda non ne sia già fornita), l'imprescindibile competenza inter-disciplinare del tecnico o del team incaricato di ideare il framework attuativo (rispetto all'organizzazione aziendale, a tematiche di valutazione dell'impatto ambientale e a modelli BIM), e la necessaria programmazione informatica del workflow di dati da parte di Ingegneri informatici, strutturando e organizzando i dati secondo il modello semantico teorizzato (organizzando le informazioni e le loro relazioni). Per una corretta esecuzione di questa operazione è inoltre fondamentale una complessa cooperazione tra tutte queste figure e i vari dipartimenti dell'impresa. Per gli operatori finali, invece, non saranno necessarie particolari conoscenze informatiche aggiuntive, se non per la consultazione dei dati nelle dashboard tipicamente user-friendly della BI.

Volendo infine accennare alle ricadute applicative del modello messo a punto e proposto, pare utile a titolo esemplificativo descrivere una sua ipotetica attuazione. Ciò ipotizzandone l'utilizzo per l'analisi dell'impatto ambientale di una cellula customizzata durante l'avanzamento di una commessa tipica, ovvero dalla presa in carico del lavoro all'installazione in cantiere. Conclusa la fase di gara, nelle prime fasi di project management, i requisiti ambientali da perseguire vengono immessi nel framework, attraverso il software di BI, fungendo questi da benchmark per l'intera durata

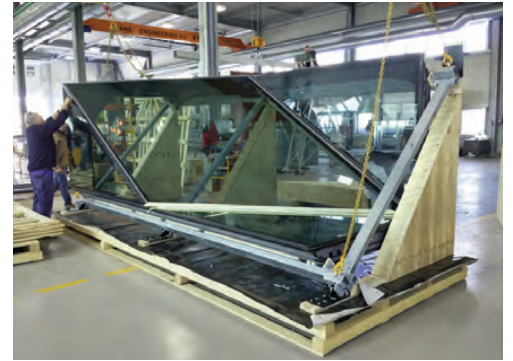


Fig. 3 | Special packaging of a curtain wall module (credit: Focchi SpA, 2017).

Fig. 4 | Air, wind, and rain resistance test of a custom curtain wall system (credit: Focchi SpA, 2017).

del processo. Nella fase di studio di sistema, in cui viene definita la tecnologia della cellula tipo, sarà possibile valutare le diverse categorie di impatto di varie alternative progettuali sulla base dei dati ambientali primari raccolti direttamente da altri dipartimenti aziendali.

Una volta definite le specifiche tecnologiche, tutti i dati progettuali sono automaticamente integrati nel framework di valutazione in quanto i software già utilizzati ne sono inclusi e non prevedono ulteriori piattaforme entro cui caricare manualmente i dati interessati al LCA. Lo stesso varrebbe nella fase di sviluppo costruttivo, momento in cui da prassi, uno o più uffici tecnici definiscono i dettagli esecutivi per tutta la facciata e il piano di produzione. In questo scenario i dati ambientali deriverebbero invece da archivi ideati ad hoc e condivisi con gli operatori dei comparti dell'industria a vario titolo interessati.

Ulteriori vantaggi del metodo qui proposto risiedono nella possibilità da parte dell'azienda di poter rivalutare in ogni momento scelte prese anche precedentemente in risposta ad eventuali richieste di affinamento pervenute dagli stakeholders e di implementare la possibilità di valutare in tempo reale l'ecologia di nuovi prodotti, sistemi, materiali o servizi in fase di R&D per futuri virtuosi brevetti. Oltre a ciò permetterebbe di ampliare la

portata e la precisione del LCA anche alle fasi di manufacturing e utilizzo grazie a DT degli stabilimenti produttivi e dei sistemi di facciata installati opportunamente sensorizzati.

Conclusioni e sviluppi futuri | Ragionando di innovability[®]4, termine che rimanda a una innovazione orientata alla ricerca della massima sostenibilità dei processi gestionali e produttivi a servizio dei diversi stakeholders e dell'industria in particolare, non si può non tornare con la memoria ai contenuti di un libro di uno tra i più fini studiosi dell'innovazione delle tecnologie per l'architettura, ovvero Nicola Sinopoli (2002) con il suo *La Tecnologia Invisibile*. L'immaterialità tecnologica – e nello specifico quella introdotta dalla transizione digitale – spesso tende ad essere sfuggente ad un immediato riconoscimento, arricchendo ulteriormente l'elenco di quei saperi meno visibili e misurabili nella produzione dell'architettura. Questo contributo si addentra e mette a sistema una molteplicità di criticità e di limiti da superare in un particolarissimo ambito della produzione edilizia, grazie all'apporto delle nuove tecnologie digitali a servizio di un futuro più responsabile e rispettoso dell'ambiente e delle prossime generazioni.

L'approccio metodologico interdisciplinare qui presentato, ottenuto a seguito di una mediazione critica tra alcune delle più interessanti proposte di natura teorico-sperimentale e consolidati

know-how aziendali produttivi, si pensa possa giovare sia all'innovazione sostenibile di prodotto che di processo.

Ciò di fatto seguendo l'auspicata traiettoria di riavvicinamento della cultura tecnologica nazionale verso l'hard e verso l'industria rispetto ai «[...] troppi soft di cui la disciplina si è occupata in questi anni» proposta da Sinopoli (cit. in Antonini, 2013, p. 46), con la prospettiva che queste piattaforme per database, una volta sviluppate e testate secondo il modello teorico proposto, possano anche essere ad accesso aperto per la condivisione dei dati al di fuori dello specifico contesto produttivo a cui qui si riferiscono, a beneficio di successive innovazioni di settore in linea e funzionali alle tendenze di un'industria manifatturiera, più intelligente e competitiva. In quest'ottica la smartness industriale richiede appunto la disponibilità o il potenziamento di strumenti digitali di dialogo interoperabili ritenuti fondamentali per un incremento di imprenditorialità e competitività, per un corretto impiego delle risorse, per la consapevolezza del proprio valore nazionale e internazionale e per nuove competenze predittive su aspetti peculiari di produzione in ragione del LCA.

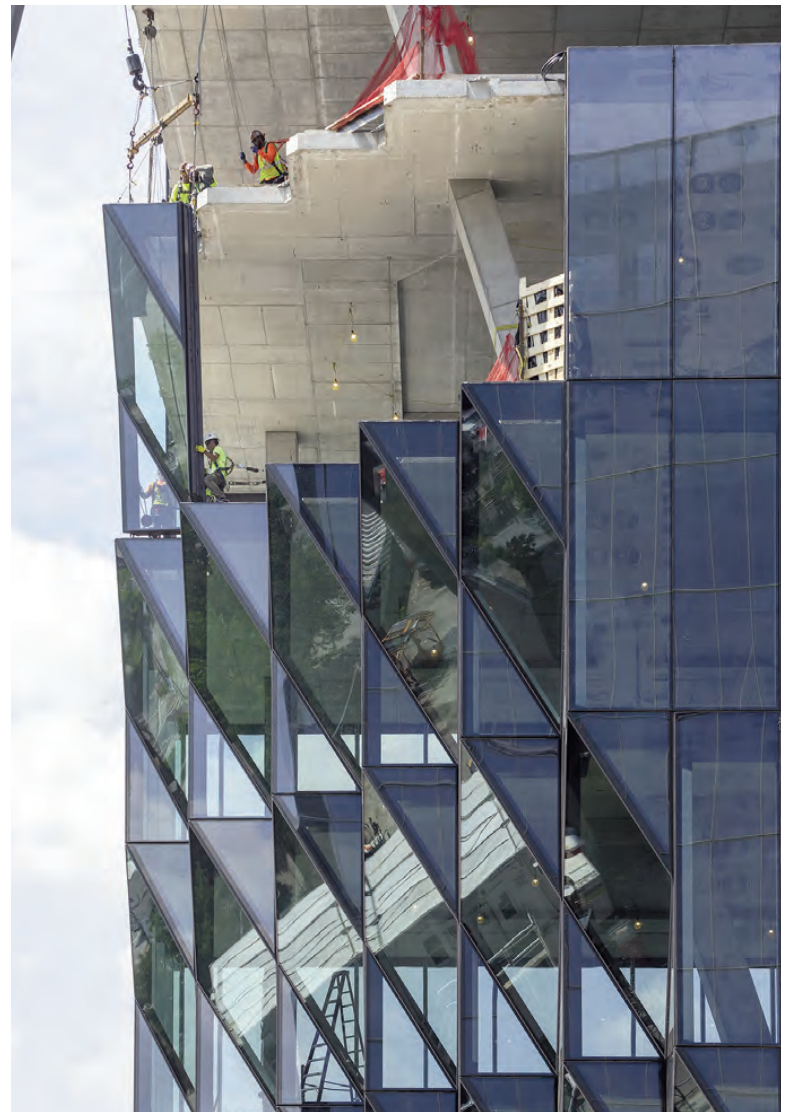
Dealing with «[...] our unprecedented, unexpected, and almost miraculous data opulence, [which]

often we do not know what to do with» (Carpo, 2017, p. 9) is part of the prevailing argument that is characterising the contemporary digital transition. The possibility to employ such data to foster socially, economically and, above all, environmentally sustainable development is now a key theme in the international debate. Indeed, digital represents a technical and cultural device, which can lead to the identification of new methodological approaches for the interpretation of building management-related data (Rigillo, Russo Ermolli and Galluccio, 2021) from a construction, regulatory, and environmental perspective.

The scope is that of the relevant transformations which are orienting the technological culture of design in recent years; a convergence of major themes that form the object of debate for the scientific community, in an inter-scalar manner and through articulate directions: climate change, the fourth industrial revolution, sustainability, and resilience. It is the vision of an implementation scenario, capable of considering and systemising the recent transformations that have occurred in design and production processes. Indeed, digitalism originates to deal with the «[...] epistemic uncertainty, the result of the impossibility of creating sufficiently detailed models of reality due to incomplete knowledge» (Campioli, 2017, p. 31). This challenge takes on the well-known uncertainties induced by the market (sector), the organization



Fig. 5, 6 | Installation of the module of a 3D spatial system (diamond-like façade) in insulated double glass (credits: Focchi SpA, 2018).



Next page

Fig. 7 | Gang Architects Studio, 40 Tenth Avenue Solar Cave Tower (targeting LEED Gold), New York, NY (credit: T. Schenk, 2019).

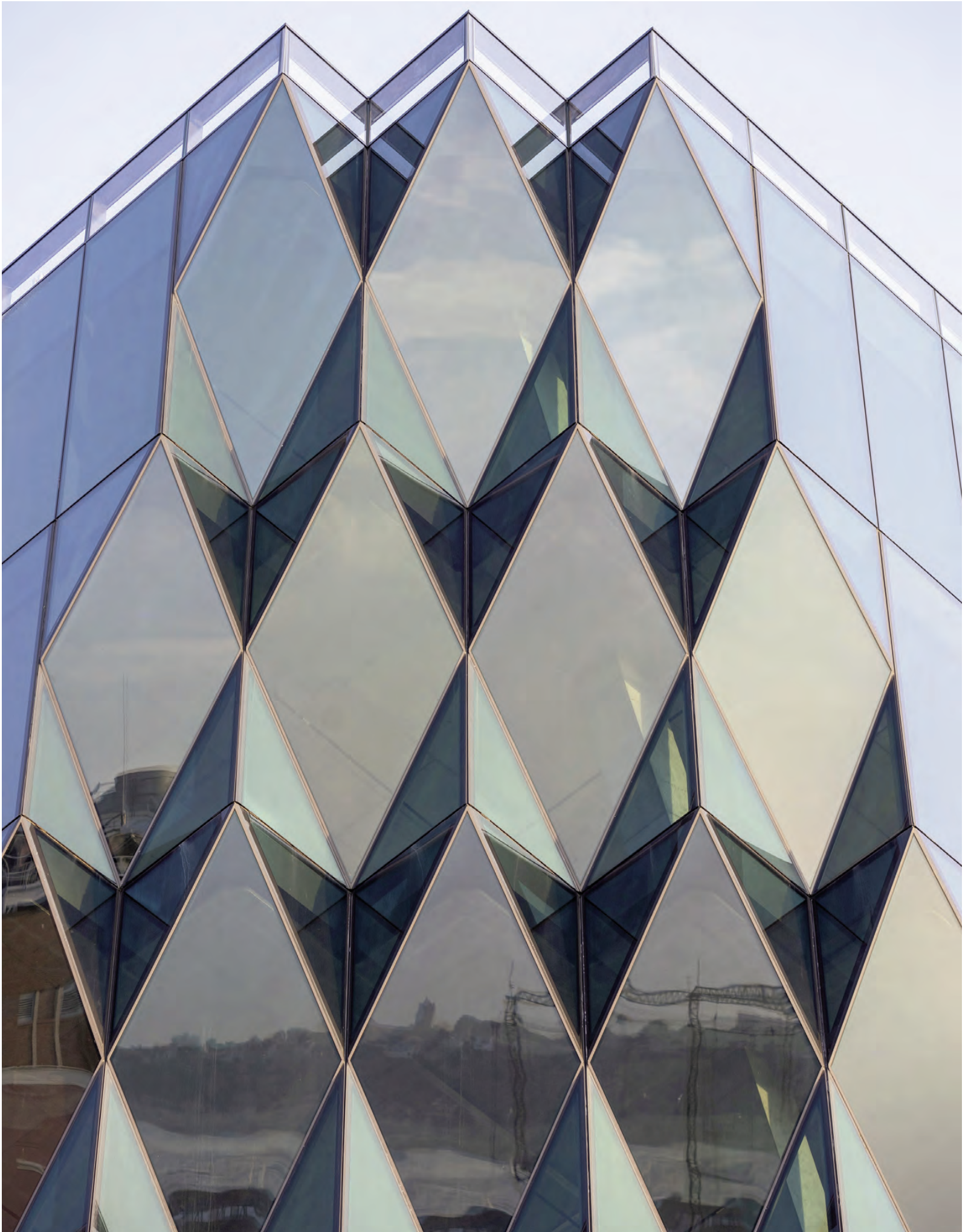




Fig. 8 | Installation of the first module of a structural bonding unitized system (credit: Focchi SpA, 2019).

Fig. 9 | 100 Liverpool Street (targeting BREEAM Excellent) in London, designed by Hopkins Architects (credit: J. Hobhouse Photographer, 2021).

Fig. 10 | Installation of a custom stick-system curtain wall with shaped internal aluminium mullion/fins (credit: Focchi SpA, 2022).

Next page

Fig. 11 | Paddington Square in London, designed by Renzo Piano Building Workshop + Adamson Associates (credit: Focchi SpA, 2022).

and management of construction processes, the adequacy of the level of environmental sustainability of programmed transformations, up to the actual performance behaviour of the built environment, and the compliance with the expected life cycle (among others).

The current moment is not only a transition toward more updated operational approaches, which represent a convergence between material and immaterial innovations; it stands as a contextual reconsideration of the scope of scientific contributions within this framework. As will be further detailed below, the present developments seem to be ambivalently oriented both toward the ‘strong’ (hard) technologies of industrial production as well as toward guiding information (soft) processes¹. This according to an interpretation of this theme based on a classification dating back to the early '70s, which somewhat aimed to increase recognizability of action scopes, cultural contributions, and operational repercussions for the industry of the new scientific disciplinary technology area, in a ‘clotting’ phase at that time.

Given that the debate on the prioritized placement of the interests of the scientific-technological community toward one of these two scopes – hard and soft – seems to be still open (Antonini, 2013), it is worth exploring new potential research areas, with careful regard both toward the need for new guiding tools and the specific requests of

the recipients of those design (and/or production) management actions.

In the current general scenario of digital transition (which cannot be separated from the demands of the climatic emergency), the purpose of this study is to investigate and propose an original approach based on the analysis of peculiar data and aimed at Life Cycle Thinking strategies: this goal is possible thanks to the new interoperable digital tools, geared to this new type of demands and able to provide support to predictive actions for the enhancement of sustainable and resilient solutions. Specifically, this approach is a framework that combines industrial IT tools for technological innovation, optimization, and advanced management of resources and production processes in the sector of curtain walls.

Moreover, the study aims to highlight feasible scenarios for the presented approach, made possible by the integration between data management software and platforms with environmental impact assessment models such as the Life Cycle Assessment (LCA), to support sustainable industrial product life cycle actions.

This introductory framing is followed by an analysis of the state of the art regarding the discussed themes, starting from the presentation of the scientific-productive context of reference and related LCA practices (industrial, and synergic with technical designers and specialists). The aim is to critically analyse the key aspects, critical is-

sues, and limitations to be overcome, in addition to defining the objectives that characterize the proposed innovative approach.

This is further followed by a brief description and critical comparison of specific data-driven approaches to environmental assessment, which are already being tested in the building sector, accompanied by the presentation of the models and tools through the practical-functional implications of data-driven LCA, which are believed to be useful in this and other potential contexts of the construction industry. A critical interpretation of their advantages and effects in the industry and the sector of Architectural Technology is proposed in conclusion.

LCA know-how for custom curtain prefabricated modular curtain walls

| The scientific community involved in the perfecting of LCA, just like the industry, which is in the middle of the ecological transition through its R&D departments, is constantly seeking reliable innovative models to refine, speed up, check, and validate existing processes. In this context, the considerations which follow relate to the specific context of design, production, installation, and maintenance of high-tech custom prefabricated modules for curtain walls (Fig. 1-11).

This context – similarly to other cases of prefabrication of building systems and components – benefits from well-known environmental advan-

tages offered by off-site preparation and assembly in specialized and controlled manufacturing facilities. This characteristic suggests that systems realized within these processes are on average more sustainable than the equivalent non-prefabricated ones, depending on the distance between the production and the construction sites, the project requirements and timelines, as well as the circumstances pertaining to the market of construction materials and components (Pons, 2014). However, the quantification and verification of these advantages for complex and custom systems is still the subject of extensive research and debate, due to often excessive approximation and insufficient reference benchmarks.

The international policies for sustainable development and global warming mitigation are leading market operators to become more concerned with the environmental analysis of their products. Although legislation enforcing implementation is still currently limited, the European Union is increasingly adopting references to Life Cycle Thinking (LCT) and LCA in its communication and policies (Sala et alii, 2021). Despite showing pragmatic interest in incentivizing sustainable development, this represents a significant challenge for the industry of custom curtain walls, as each module, due to its unique and unrepeatable characteristics, requires punctual ex-novo analyses in absence of adequate Product Category Rules.

Stakeholders' request (among them, general contractors and clients) to verify sustainability tar-

gets, such as Science-Based Targets (SBTs) or other environmental assessment methods (like LEED and BREEAM), gives greater urgency to the industrial need for a digital strategy for automated and interoperative data analysis to evaluate buildings, in time with market dynamics and with the highest possible accuracy.

Considering these articulate premises, related to this specific productive sector, the digital transition indeed promises interesting practical evolutions for the management of the above-mentioned business criticalities. The conception of a new database framework could be useful to achieve these results, allowing, for each department with LCA data availability (quality departments, technical departments, etc.), real-time sharing with other users of those data (tender, project management, and design manager, etc.), thus achieving continuous updated availability at the moment of data consultation. The final goal of this step is the creation of optimal conditions to automatically relate the data between the currently used platforms, specifically between Enterprise Resource Planning (ERP)² and Product Lifecycle Management (PLM)³ software tools, between Common Data Environment (CDE) platforms and other specialized business databases, when present. The finalization of this instrumental synergy, constituting a data-driven LCA, would provide several benefits:

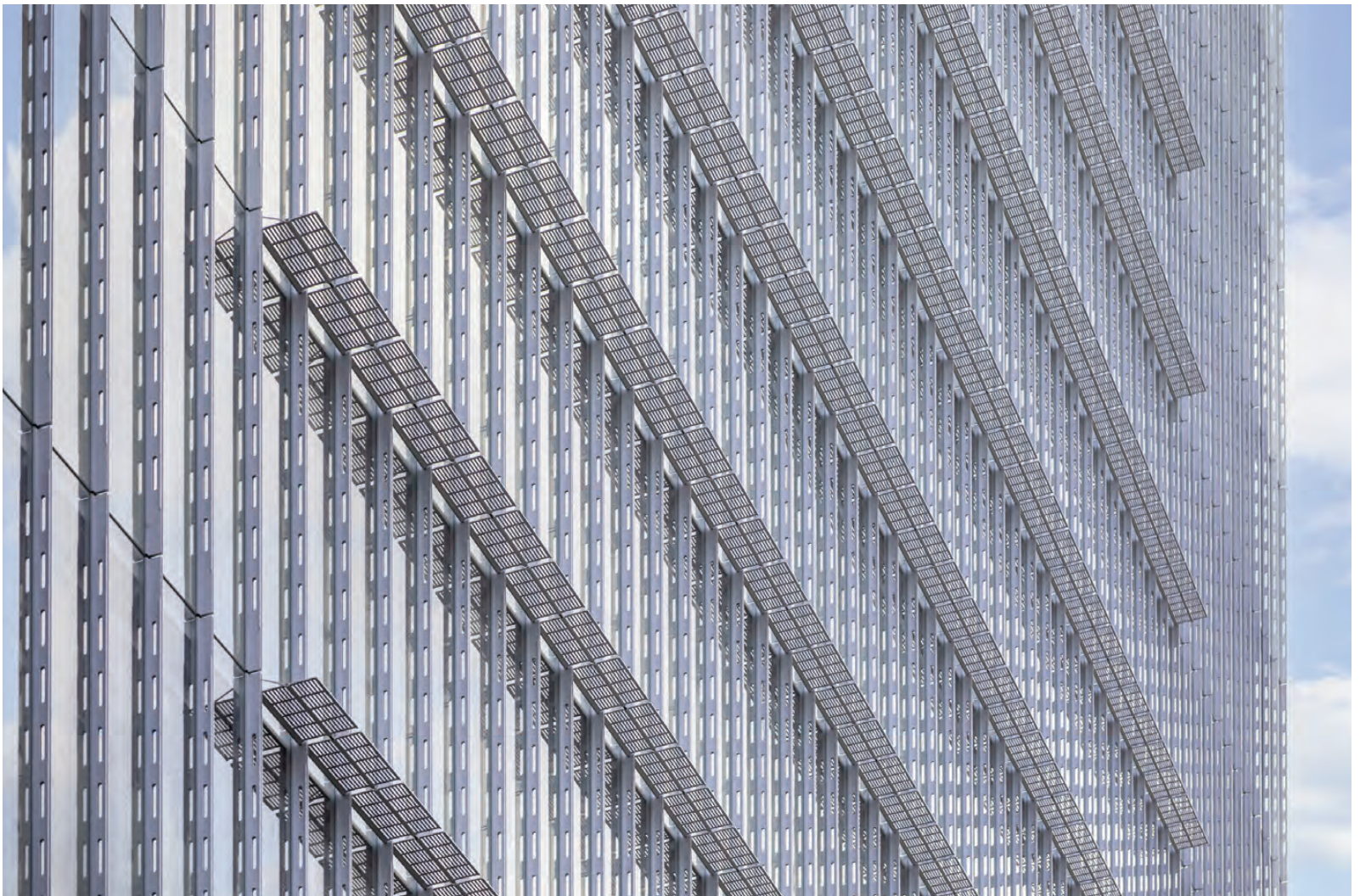
- the possibility to quantify the environmental impact of the product, through the methodology of

Life Cycle Impact Assessment (LCIA) as defined by the ISO EN 14040:2006 code; the simultaneous evaluation of other parameters required by the market, such as compliance with minimum percentages of recycled materials or the availability of Environmental Product Declarations (EPDs) for the constitutive elements of prefabricated modules; the importance of this step is due to the relevance of data functional for obtaining environmental certifications, with reference to ISO 14021:2015 and EN 15978:2011 codes and/or in compatibility with other international assessment systems;

- decision support to green strategic choices in design, engineering, production, logistic planning, supply chain evaluation, assembly, and finally disassembly, due to the possibility of preventively evaluating the impact of the various alternative operations for the achievement of the desired goal; considerations that would be otherwise difficult to assess through conventional LCA models;

- support for the ideation of new and virtuous strategies for the end life of curtain walls, to favour their circular transition and innovation (Viscuso, 2021).

The proposed operational framework would also allow for the re-definition of the main limits of the currently used LCA method, as noted by both the scientific community and industrial operators. These include, for example, the insufficient support for 'what if' scenarios, the currently scarce possibility of integration with BIM models, and the



LCA Software	Users	Studied Objects	Project data import (software)	Environmental data import (database)	EoF options	Standard compliance	All-in-one platform
Possibilities of stand alone software	Designers, facility managers, and environmental managers	Single Building, products, corporations, and infrastructures	BIM, Structural-BIM, DT, Building Performance Simulator, CDE	Software-included database, EPD platforms, online databases (e.g., Ecoinvent)	Compare design options, Optimize carbon, cost, circularity throughout the design process	EN and ISO standards depending on the geographic areas, Building Rating Systems (e.g., LEED)	
Possibilities of BIM plug-in software	Designers, technicians, and BIM managers	Single building, multiple buildings or a comparative analysis	BIM	Custom designed LCA database, Software-included database	ND	EN and ISO standards depending on the geographic areas	✓
Possibilities of the proposed custom data-driven LCA framework	All corporate offices that need the data	Company products, corporations	ERP, PLM, BIM, Structural-BIM, DT, Building Performance Simulator, CDE	EPD of suppliers, Factory DT and databases, EPD platforms, online databases (e.g., Ecoinvent)	Achieve a product passport, Compare design options, Optimize carbon, cost, circularity throughout the design process	Customizable by project manager and tender office, EN and ISO standards, Rating Label Systems	✓

Tab. 1 | Possibilities summary of the software used for LCA (credit: the Authors, 2022).

total lack of time-dependent data for End of Life (EoL) stage management (Fnais et alii, 2022). In fact, the use of the proposed framework would make it possible to assess various operational scenarios based on the environmental impact and EoL possibilities (at the design phase) and to constantly update the evaluation during job progress to verify requirements. This is performed by drawing from primary design data (from the BIM model, ERP and PLM software) and environmental data, obtained from the direct measurement of the processing impact, or from the EPD specifications of the employed materials.

The use of primary data for this analysis is a key factor for the accuracy and the expendability of LCA (Silva et alii, 2020); the integration with a BIM model, although still limited, provides total traceability of the modules for the design and conception of the EoL (Llatas, Soust-Verdaguer and Passer, 2022). Moreover, BIM models offer significant possibilities for integration with databases and are being increasingly studied in relation to the ideation of manual, semi-automatic, and – recently – even automatic data exchange solutions (Safari and AzariJafari, 2021).

In conclusion, the results of this analysis could be viewed by managers and technicians through dashboards, generated by Business Intelligence (BI) software or directly from the BIM model – which could stand as a Digital Twin of the façade if sufficiently developed (uploaded to a CDE platform) – in connection with the envisaged operational framework. This approach is also made more versatile – as a benefit for the final user – by its capacity to serve for the realization of dashboards that can perform the contextual evaluation of several construction options, integrating the Life Cycle Costing (LCC) analysis with the LCA (Zeng, Chini and Ries, 2020).

Comparative analysis of some data-driven models tested in the building sector | In recent years, several software programs for the LCA of building products, including in the form of specific plug-ins for BIM platforms, have become progressively popular. However, these systems still widely suffer from the abovementioned limitations and the possibility to manage primary data with an all-in-one, interoperative tool. Table 1 reports a comparison between the possibilities offered by the main software, stand-alone tools, and BIM plug-ins on the market and the proposed model.

Recently, data-driven approaches and tools, more sophisticated than those on the market, are increasingly becoming the subject of multi-scalar scientific research in the building sector, aspiring to propose implementation models by leveraging the potential of already popular software. Among these are some interesting case studies and good practices, validated by research activities and field experimentations. The implementation models adopted in these experiences provide consistent and functional insights for the original model proposed here.

The first example is related to manual and automatized solutions for data sharing with BIM models. Concerning this typology of approach, it is certainly interesting to analyse the study on the configuration of a data model for automatic BIM-based evaluation by Jan Ružicka (et alii, 2022). This study is based on the analysis and verification of the possible workflows and includes the integration of BIM data for Complex Building Quality Assessment, as summarized in Figure 12.

Further examples of alternative models are represented by two cases of data-driven models for the assessment of the energy performance of existing buildings. In this specific area, the research conducted by Jacopo Famiglietti and a

research group at the Politecnico di Milano (Famiglietti et alii, 2022) is of interest. The study involved the development in Python of a data-driven LCIA tool at the urban scale for the evaluation of the energy performance of buildings, a scenario for which commercial assessment software is not currently optimized. Concerning the same aspect, following a systematic literature review, Venkatraj and Dixit (2022) highlighted potential solutions, future directions, and research opportunities for data-driven Life Cycle Energy Assessments.

Interestingly, in both of the aforementioned studies, the data workflow for these assessments is divided into three steps (Fig. 13): 1) data preparation and collection; 2) reception of LCI data as input parameters for the environmental analysis of energy systems, in absence of standardized methodologies; 3) building-scale evaluation, presentation of results, assessment, temporal representativeness and possible data import downstream of the process.

The comparison between these implementation workflows (the three-phase workflow for energy assessment and the integrated workflow with BIM models) with the proposed original model (conceived after studying the possibilities offered by the most widespread and established business software, and the needs of the production sector) has led to fine-tuning a data-driven approach for this specific sector.

The workflow proposed below for the use of primary data for the LCA of curtain wall modules features an innovation aimed at overcoming the limitations of previous models: an advancement which is possible due to the implementation of the data from the BIM model of the curtain wall and PLM and ERP business software for the analysis of design data, and the use of internal databases

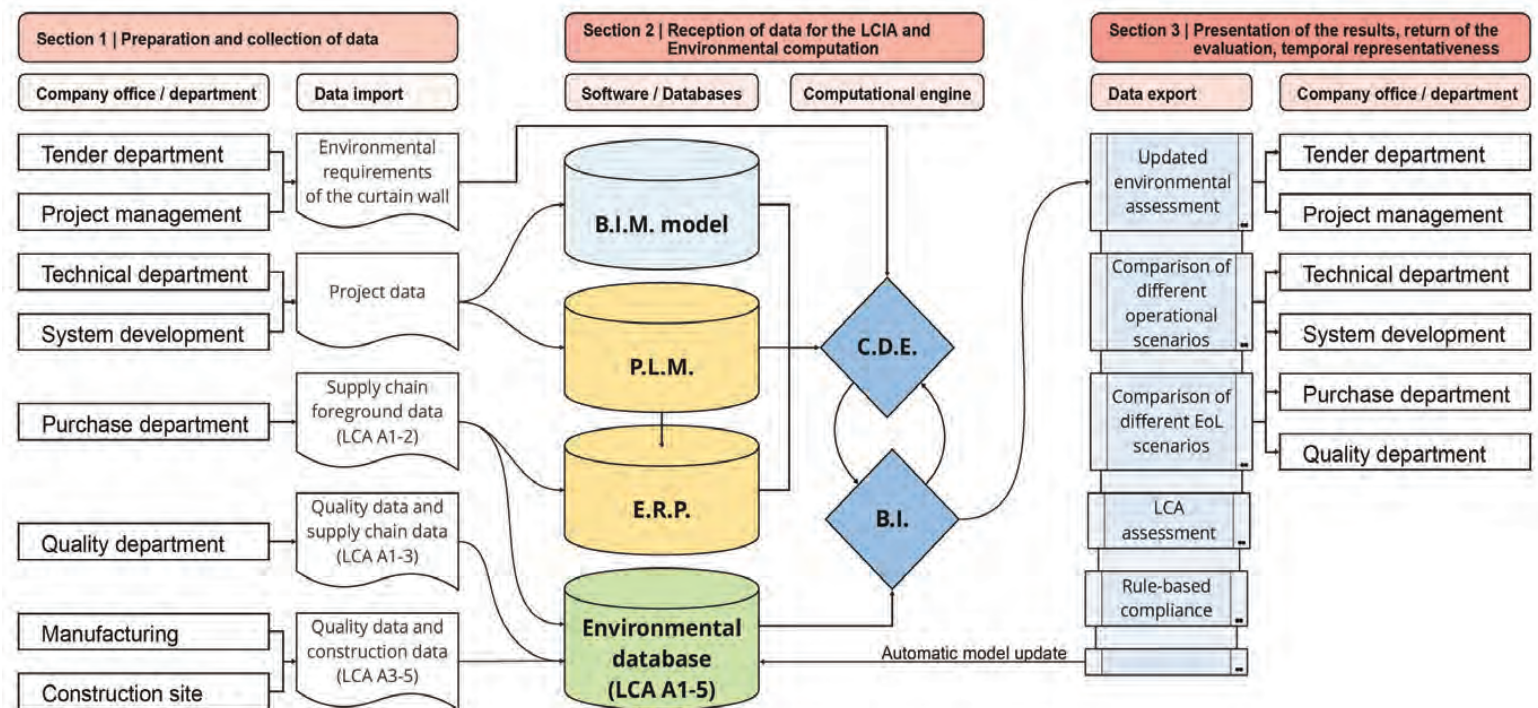
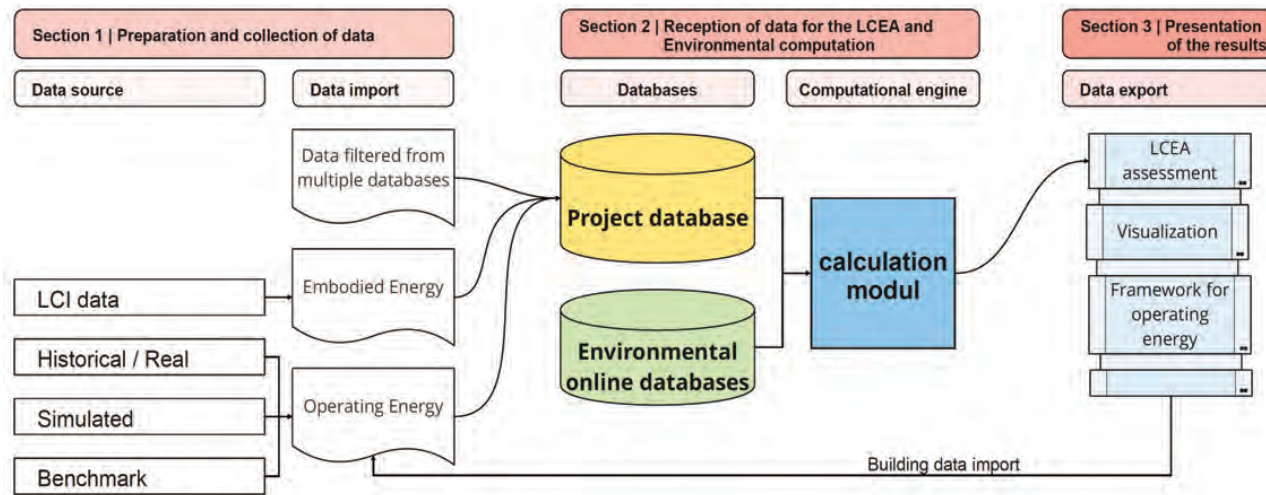
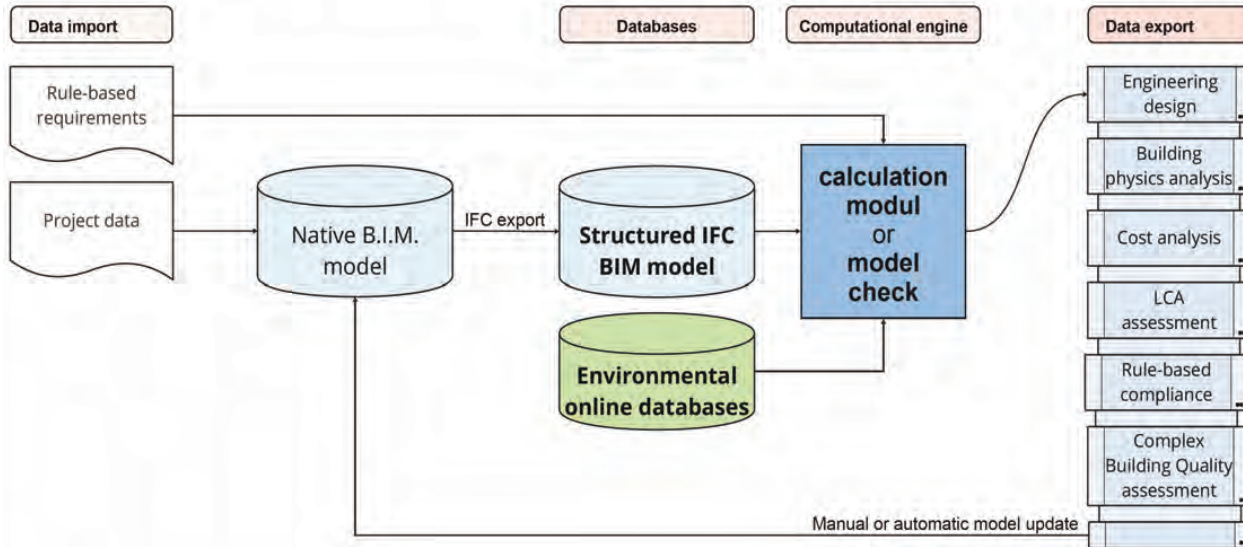


Fig. 12 | Highly structured IFC data model in a completely automatic workflow (source: Ružicka et alii, 2022).

Fig. 13 | Workflow for data-driven life cycle energy assessment of buildings, a combination of the models by Famiglietti et alii (2022), and Venkatraj and Dixit (2022).

Fig. 14 | Workflow for data-driven automatic LCA of custom modules for curtain walls, integrated with a BIM model and ERP and PLM software (credit: the Authors, 2022).

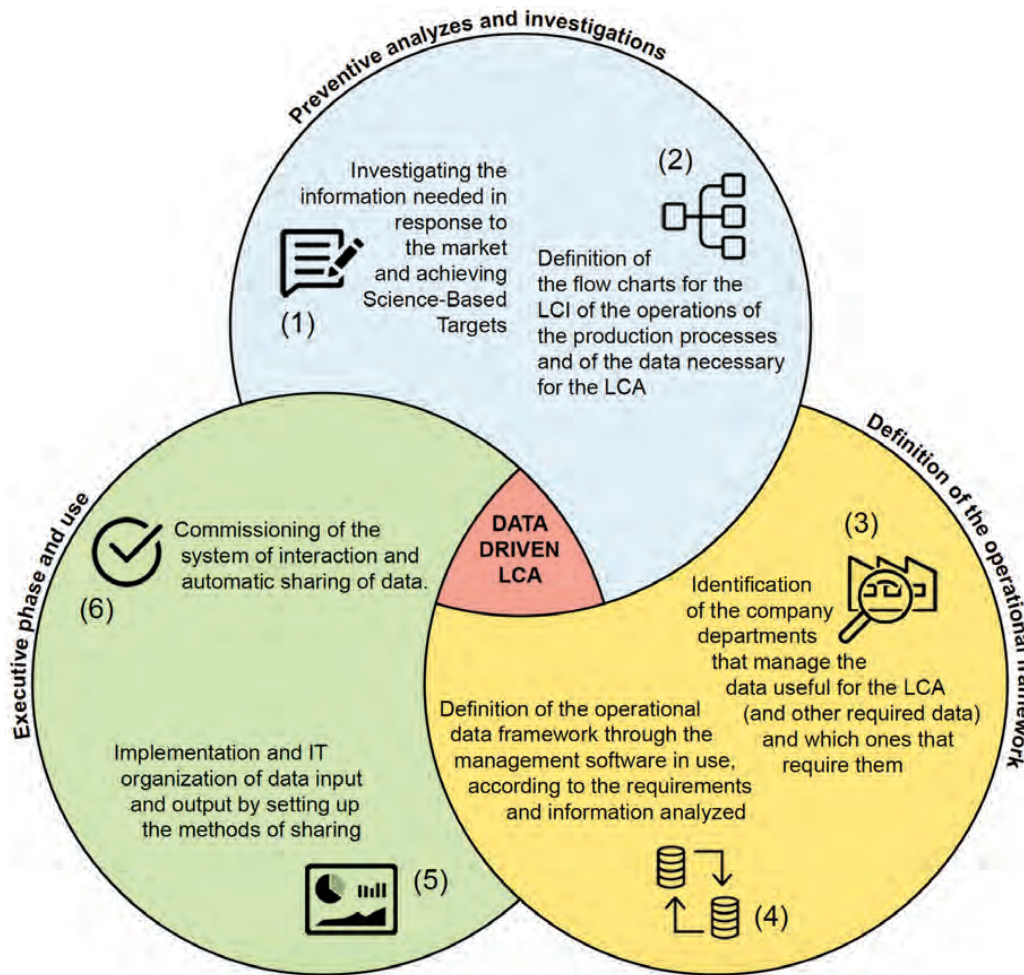


Fig. 15 | Consequential methods for the implementation of the proposed innovative model (credit: the Authors, 2022).

for environmental data, divided into three different implementation sections (Fig. 14). This organization of the information model allows for efficient assessment of the various design strategies, their real-time verification during the advancement of the productive process, and higher quality of the final product, in addition to favouring the evolution of LCA methodologies by overcoming the highlighted shortcomings.

Possible operational scenarios, with benefits and criticalities, for the advanced management of process data | At this point, it seems appropriate to discuss how these goals can be achieved by implementing the model illustrated by the companies producing custom prefabricated curtain walls.

The innovative model proposed in this paper is based on the serial application of the following methods (Fig. 15): 1) the investigation of the required data to fulfil the market need for the achievement of Science-Based Targets (SBTs); 2) the definition of the possible flowcharts for the Life Cycle Inventory (LCI) of the single operations comprising the examined productive processes, and of the environmental and design data required for LCA; 3) the breakdown and analysis of commissions, to identify the business departments that manage the data needed for LCA (and other required data), and the departments that need the data; 4) the definition of the operational data framework by using the information contained in the in-use management software, ac-

ording to the analysed requirements and information (as well as the evaluation of necessary integrations); 5) the implementation and IT organization of data input and output, establishing sharing modalities; 6) the implementation of the system for automatic data interaction and sharing.

Data definition and processability represent the core of these methods. For this reason, the first step is the collection of the analytical targets needed to analyse products according to the design goals and purpose (e.g., LCIA impact categories, requirements of the most widespread Rating Systems, and certifications requested by the clients). The hierarchization of these parameters contributes to the evaluation of short-term and long-term roadmaps. Subsequently, it is necessary to identify the items for which input data can be directly obtained from business software and business databases (primary data), or alternatively from literature and databases (secondary data), or how to define them based on estimations and average values (tertiary data).

The possibility of extracting data from ERP management platforms, in addition to BIM software, could solve a significant amount of the limits of LCA practices, caused by the complexity of digital curtain wall models. However, this requires the introduction of an implementation phase for the definition of the ideal functional units, to compare unit operations and building elements with the conversion parameters in their impact with reference to the LCIA (the data will have to be normalized according to the identified functional

units). The process shall be followed by the implementation phase, in which IT technicians can operationalize the designed framework by applying the previously described methods. The adopted model will therefore be verifiable and iterative, as a result of the improvement obtained through operator feedback.

The limits of this approach are mostly technical. These include the reasonable need to acquire BI or CDE software (if the company does not already employ such software), the essential interdisciplinary skills of the technicians or the team responsible for developing the implementation framework (concerning business organization, environmental impact assessment, and BIM models), and the need for IT programming of the data workflow. IT engineers must perform the latter by structuring and organizing data according to the theorized semantic model (organizing the data and the consequent relationships). The successful execution of this operation also requires complex cooperation between all these roles and all business departments. Instead, end-operators will not require significant additional IT skills, other than for consulting data in the typically user-friendly BI dashboards.

Finally, concerning the operational consequences of the developed and proposed model, it is worth describing its hypothesized implementation, in relation to its use for the environmental impact assessment of a custom module during the advancement of a typical commission, that is from the job assignment to its on-site installation. Following the tender phase, in the initial project management phases, the target environmental requirements are introduced in the framework through the BI software, serving as benchmarks for the whole duration of the process. In the system analysis phase, when the technology of the typical module is defined, it shall be possible to evaluate the different impact categories of various design alternatives, based on the primary environmental data directly collected from other business departments.

After the definition of technological specifications, all design data are automatically integrated into the evaluation framework, as the utilised software is included and no additional platforms to manually upload the data needed for LCA are provided. The same applies in the construction development phase, in which one or more technical departments provide the execution data for the whole curtain wall and the production plan. In this scenario, environmental data would derive from archives developed ad-hoc and shared with the operators of the various business departments who require them for different purposes.

Further advantages of the proposed method are represented by the possibility of the company to re-evaluate previous choices at any time, as a response to improvement requests on behalf of the stakeholders, and to assess in real-time the ecological characteristics of new products, systems, materials, or services during the R&D phase, for future virtuous patents. Moreover, this would extend the scope and accuracy of LCA to the manufacturing and utilization phases as well, thanks to the DT of the production facilities and the installation of curtain wall systems suitably equipped with sensors.

Conclusions and future developments | When talking about innovability[®] – a term that refers to innovation-oriented toward the maximum sustainability of management and production processes for the various stakeholders and, in particular, for the industry – it is impossible to avoid recalling the contents of a book by one of the finest scholars of innovation in architectural technology, that is Nicola Sinopoli (2002)'s *La Tecnologia Invisibile* (The Invisible Technology). Technological immateriality – specifically, the one introduced by the digital transition – often tends to escape immediate recognition, further enriching the list of those kinds of knowledge in architectural production which are less visible and measurable. This contribution delves into and systematizes a high number of criticalities and limits to be overcome, in a very specific area of building production,

thanks to the contribution of new digital technologies, to achieve a more responsible and environmentally friendly future for the next generations.

The hereby presented interdisciplinary methodological approach derives from a critical mediation between some of the most interesting theoretical-experimental proposals and consolidated know-how in business production, contributing to the sustainable innovation of products and processes.

This follows the desired trajectory of Italian technological culture toward hard systems and industry, rather than the «[...] too many 'soft' the discipline has dealt with in the last years», proposed by Sinopoli (cit. in Antonini, 2013, p. 46). Hopefully, following development and testing according to the proposed theoretical model, these database platforms could also become open-access for data sharing outside the specific manu-

facturing context to which they refer here, for the benefit of subsequent industry innovations in line with and functional to the trends of a smarter, more competitive manufacturing industry. In this perspective, industrial smartness requires the availability or the improvement of interoperable digital dialogue tools, fundamental for the increase of entrepreneurship and competitiveness, for the correct employment of resources and the awareness of national and international value, to achieve new predictive skills regarding peculiar production aspects based on LCA.

Acknowledgements

The contribution is the result of the joint reflections of the authors, who declare no conflict of interest. The authors thank A. Pracucci (Innovation Manager in Focchi SpA), E. Tonelli (Environmental Manager), M. Cicognani (Senior Software Engineer and CAD-BIM Manager) and Focchi SpA for the kind concession of certain pictures.

Notes

1) Ciribini (1971) borrows the technical and terminological distinctions of IT systems between hardware and software and distinguishes between hard (or strong) technology and soft (or weak) technology. The former is meant as the one focusing on executive operations, from technological transformations to real production processes, while the latter consists of all the information operations (or information processes) related to the guide, control, and management of the building process.

2) ERP software tools are typically defined as 'business management software'; they can be local-based or cloud-based, and allow an updated vision of the core business of a company, by integrating common databases and tracing data related to costs, raw materials, production capacity, orders, purchases, or payments.

3) PLM, which is part of the typical modules of an ERP, supports the life cycle planning and optimization of industrial products from the start of the process, through the design, production, and planning of material resources.

4) The term innovability[®] is a trademark of Enel SpA. All rights reserved to Enel SpA.

References

Antonini, E. (2013), "La memoria del future – Tavola rotonda su Giuseppe Ciribini | Memory of the future – Round table discussion about Giuseppe Ciribini", in *Techne | Journal of Technology for Architecture and Environment*, vol. 6, pp. 43-47. [Online] Available at: doi.org/10.13128/Techne-13454 [Accessed 07 September 2022].

Campioli, A. (2017), "Il carattere della cultura tecnologica e la responsabilità del progetto | The character of technological culture and the responsibility of design", in *Techne | Journal of Technology for Architecture and Environment*, vol. 13, pp. 27-32. [Online] Available at: doi.org/10.13128/Techne-21129 [Accessed 07 September 2022].

Carpò, M. (2017), *The Second Digital Turn – Design Beyond Intelligence*, The MIT Press, Cambridge (MA). [Online] Available at: mitpress.mit.edu/books/second-digital-turn [Accessed 07 September 2022].

Ciribini, G. (1971), "Una nuova tecnologia per l'ambiente costruito", in Ente Autonomo Fiere di Bologna and Associazione Italiana Prefabbricazione per l'edilizia industrializzata, *Un pianeta da abitare – Requisiti e prestazioni per l'ambiente costruito*, Ente Fiere di Bologna, Bologna, IT. [Online] Available at: ibs.it/pianeta-da-abitare-requisiti-prestazioni-libri-vintage-vari/e/2560038137232 [Accessed 07 September 2022].

Famiglietti, J., Amini Toosi, H., Dénarié, A. and Motta, M. (2022), "Developing a new data-driven LCA tool at the urban scale – The case of the energy performance of the building sector", in *Energy Conversion and Management*, vol. 256, 115389, pp. 1-13. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.enconman.2022.115389 [Accessed 07 September 2022].

Fnais, A., Rezgui, Y., Petri, I., Beach, T., Yeung, J., Ghotoghi, A. and Kubicki, S. (2022), "The application of life cycle assessment in buildings – Challenges, and directions for future research", in *The International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 27, pp. 627-654. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s11367-022-02058-5 [Accessed 07 September 2022].

Llatas, C., Soust-Verdaguer, B. and Passer, A. (2020), "Implementing life cycle sustainability assessment during design stages in building information modelling – From systematic literature review to a methodological approach", in *Building and Environment*, vol. 182, 107164, pp. 1-14. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107164 [Accessed 07 September 2022].

Pons, O. (2014), "18 – Assessing the sustainability of prefabricated buildings", in Pacheco-Torgal, F., Cabeza, L. F., Labrincha, J. and de Magalhães, A. (eds), *Eco-efficient Construction and Building Materials – Life Cycle Assessment (LCA), Eco-Labeling and Case Studies*, Woodhead Publishing, Philadelphia (PA), pp. 434-456. [Online] Available at: doi.org/10.1533/9780857097729.3.434 [Accessed 07 September 2022].

Rigillo, M., Russo Ermolli, S. and Galluccio, G. (2021), "Processi digitali di conformità normativa – La rigenerazione urbana della ex-Corradini a Napoli | Digital Rule-Based compliance processes – The urban regeneration of ex-Corradini, Naples (IT)", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 10, pp. 120-131. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/10102021 [Accessed 07 September 2022].

Růžička, J., Veselka, J., Rudovský, Z., Vitásek, S. and Hájek, P. (2022), "BIM and Automation in Complex Building Assessment", in *Sustainability*, vol. 14, issue 4, 2237, pp. 1-20. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su14042237 [Accessed 07 September 2022].

Safari, K. and AzariJafari, H. (2021), "Challenges and

opportunities for integrating BIM and LCA – Methodological choices and framework development", in *Sustainable Cities and Society*, vol. 67, 102728, pp. 1-18. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.scs.2021.102728 [Accessed 07 September 2022].

Sala, S., Amadei, A. M., Beylot, A. and Ardenne, F. (2021), "The evolution of life cycle assessment in European policies over three decades", in *The International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 26, pp. 2295-2314. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s11367-021-01893-2 [Accessed 07 September 2022].

Silva, F. B., Reis, D. C., Mack-Vergara, Y. L., Pessoto, L., Feng, H., Pacca, S. A., Lasvaux, S., Habert, G. and John, V. M. (2020), "Primary data priorities for the life cycle inventory of construction products – Focus on foreground processes", in *The International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 25, issue 6, pp. 980-997. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s11367-020-01762-4 [Accessed 07 September 2022].

Sinopoli, N. (2002), *La tecnologia invisibile – Il processo di produzione dell'architettura e le sue regole*, FrancoAngeli, Milano.

Venkatraj, V. and Dixit, M. K. (2022), "Challenges in implementing data-driven approaches for building life cycle energy assessment – A review", in *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 160, 112327, pp. 1-17. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.rser.2022.112327 [Accessed 07 September 2022].

Viscuso, S. (2021), "Coding the circularity – Programmare il disassemblaggio e il riutilizzo dei componenti edili | Coding the circularity – Design for the disassembly and reuse of building components", in *Techne | Journal of Technology for Architecture and Environment*, vol. 22, pp. 271-278. [Online] Available at: doi.org/10.36253/teche-10620 [Accessed 07 September 2022].

Zeng, R., Chini, A. and Ries, R. (2020), "Innovative design for sustainability – Integrating embodied impacts and costs during the early design phase", in *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 28, issue 3. [Online] Available at: doi.org/10.1108/ECAM-09-2019-0491 [Accessed 07 September 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

Fabrizio Tucci, Valeria Cecafozzo, Paola Altamura,
Marco Giampaolletti

ABSTRACT

Il contributo definisce un approccio metodologico-applicativo originale a supporto della fase sperimentale-progettuale nell'ambito della rigenerazione di distretti urbani, al fine di offrire risposte alle sfide di adattamento e mitigazione dei cambiamenti climatici. La metodologia, applicata in due casi studio a Roma, incorpora e verifica strategie e soluzioni bioclimatiche passive attraverso attività di modellazione/simulazione ex ante/ex post, costruendo modelli progettuali multicriteriali e multiscalarari basati sulla fluidodinamica e misurandone l'efficacia attraverso la quantificazione della riduzione delle emissioni di CO₂. Risultati attesi sono il miglioramento del comfort ambientale negli spazi outdoor, intermedi e indoor, la riduzione del fabbisogno energetico e la mitigazione delle emissioni di CO₂, mediante un set di azioni e soluzioni confrontabili, replicabili e misurabili in termini sia di performance-climatico che di benessere ambientale.

This paper defines an original methodological and applicative approach in support of the experimental/planning phase in the area of the regeneration of urban districts, in order to offer responses to the challenges of adapting to and mitigating climate change. Applied in two case studies in Rome, the methodology incorporates and verifies strategies and passive bioclimatic solutions through activities of ex-ante/ex-post modelling/simulation, constructing multicriteria and multiscalar planning models based on fluid dynamics, and measuring their effectiveness through the quantification of the reduction of CO₂ emissions. The expected results are improved environmental comfort in outdoor, in-between, and indoor spaces, lower energy demand and CO₂ emissions mitigation, through a set of actions and solutions that are comparable, replicable, and measurable in terms of energy-climate performance and environmental well-being.

KEYWORDS

simulazione e modellazione, cambiamenti climatici, decarbonizzazione, riqualificazione energetica, progetto bioclimatico

simulation and modelling, climate change, decarbonization, energy retrofit, bioclimatic design

Fabrizio Tucci is a Full Professor of Technology of Architecture at 'Sapienza' University of Rome (Italy), where he is the Director of the PDTA Department. He is also the Coordinator of the 'Stati Generali della Green Economy' in Architecture, and the International Expert Group of the Green City Network. E-mail: fabrizio.tucci@uniroma1.it

Valeria Cecafozzo, Architect and PhD, is a Researcher at the PDTA Department of 'Sapienza' University of Rome (Italy). She carries out research activities in the field of technological, bioclimatic, energy, environmental aspects and simulation and modeling. E-mail: valeria.cecafozzo@uniroma1.it

Paola Altamura, Architect and PhD, is a Researcher at the PDTA Department of 'Sapienza' University of Rome (Italy). She carries out research on the ecological effectiveness and circularity of interventions on the built environment. E-mail: paola.altamura@uniroma1.it

Marco Giampaolletti, Architect and PhD, is a Research Fellow at the PDTA Department of 'Sapienza' University of Rome (Italy). E-mail: marco.giampaolletti@uniroma1.it



Il nostro pianeta sta vivendo alterazioni ambientali epocali che incidono sempre più sul nostro modo di vivere e abitare; la situazione inoltre si è ulteriormente complicata con l'invasione dell'Ucraina da parte della Russia e con la successiva esplosione della crisi energetica che investe tutti i Paesi con effetti difficilmente prevedibili. In ogni caso la soglia raggiunta in termini di CO₂ pari a 421 ppm, il 50% in più rispetto all'epoca pre-industriale (National Oceanic and Atmospheric Administration, 2022), ci impone un immediato e radicale cambio di passo nell'approccio progettuale con particolare attenzione e sensibilità nei confronti delle risorse ambientali; un nuovo approccio diviene imprescindibile in ogni intervento di rigenerazione e nel raggiungimento del giusto comfort per gli occupanti, mediante strategie passive e attive basate sull'impiego di fonti rinnovabili (Tucci, 2018). Tali profondi cambiamenti richiedono nuovi modelli di sviluppo responsabile e sostenibile in grado di migliorare la qualità della vita nel rispetto dell'ambiente (Battisti and Santucci, 2020). Il settore dell'architettura è al centro di tale cambiamento, reclamando, con forza, un nuovo approccio integrato e trasversale nell'ambito dell'intero processo di programmazione, progetto e produzione, pienamente integrato col portato innovativo della transizione digitale (Abdolhosseini Qomi et alii, 2016).

Indagare il patrimonio edilizio esistente, per oltre il 65% antecedente alla prima legge sul risparmio energetico (ISTAT, 2021), obbliga a rispondere agli impegni assunti in ambito europeo, volti alla riduzione delle emissioni di gas climalteranti – in primis derivanti dai consumi energetici per riscaldamento e raffrescamento – in un'ottica di una non più procrastinabile decarbonizzazione del settore (Kuittinen et alii, 2021; IEA, 2021). La continua innovazione tecnologica ha portato allo sviluppo di software sempre più efficienti, in grado di simulare, con maggior precisione, le caratteristiche reali di comportamento. Ciò consente, all'interno di uno spazio definito 'virtuale', di indagare le prestazioni ambientali ed energetiche di un manufatto edilizio all'interno di un distretto urbano, definendo veri e propri scenari di intervento (Erell, Pearlmutter and Williamson, 2011). Il raggiungimento di elevate performance dei comportamenti fluidodinamici nel comfort indoor e l'idea stessa di 'sostenibilità', rientranti nei crescenti sviluppi degli strumenti di Information and Communication Technology (Maksimovic, 2018), richiedono specifiche analisi reiterate con soluzioni tecniche alternative messe in atto durante il processo decisionale, che necessitano di un ruolo sempre più attivo delle tecnologie digitali e di una progettazione gestita da parametri scientifici (Boeri et alii, 2017).

Obiettivo del presente contributo, nell'ambito degli approcci propri della Progettazione Tecnologica Ambientale, è quello di illustrare i risultati di attività di ricerca mirate a definire indirizzi e strategie per l'utilizzo di sistemi tecnologici ambientali passivi nella rigenerazione di architetture e distretti urbani esistenti con l'ausilio della formulazione di modelli predittivi di calcolo dinamici, di supporto al progetto, articolati in: quadro di dati di riferimento; simulazioni sullo stato dell'arte; valutazioni critiche dei risultati, ottenuti a seguito della adozione di scenari di intervento, modificando reiteratamente assetto e funzioni in modo da offrire sempre elevate prestazioni. Tali modelli innovativi sono

volti a definire soluzioni appropriate in relazione ai risultati di testing e verifica ottenuti dalle simulazioni dinamiche, formulando modelli di intervento adattivi più efficaci nel contesto di riferimento e nelle condizioni micro-climatiche ambientali (Makropoulou and Gospodini, 2016; Santamouris et alii, 2015); l'efficacia della combinazione di strategie di efficientamento energetico con quelle di regolazione degli involucri edilizi rispetto ai fattori ambientali esterni viene verificata quantificando le emissioni di carbonio incorporato e operativo degli edifici (Carrada and Frizza, 2021).

Poiché una rigenerazione sostenibile può realizzarsi solo dopo un'attenta valutazione delle prestazioni del sistema costruito nella sua complessità e della sua impronta di carbonio, è necessario definire una chiara metodologia per quantificare le emissioni. Ad oggi non è disponibile una quantificazione dei contributi alla riduzione delle emissioni derivanti dalla mitigazione del microclima urbano: a ciò si rivolge lo studio che implementa il modello di valutazione associandolo al consumo energetico grazie a simulazioni fluidodinamiche ante e post operam, poste in essere attraverso specifici software che consentono di quantificare e discutere criticamente i risultati ottenuti.

Il contributo presenta i risultati dell'analisi di diverse soluzioni tecnologiche per la rigenerazione urbana dei quartieri di Vigne Nuove e di Casal Monastero a Roma (Fig. 1) nell'ambito dell'attività di ricerca prevista dal PRIN 2017 'Tech Start – Key Enabling Technologies and Smart Environment in the Age of Green Economy – Convergent Innovations in the Open Space/Building Systems for Climate Mitigation', svolta dall'Unità di Ricerca del Dipartimento Pianificazione, Design, Tecnologia dell'Architettura della 'Sapienza' Università di Roma che ha interessato anche altre aree periferiche della Capitale¹. Le proposte di rigenerazione urbana per i due casi di studio sono orientate alle capacità di inserimento e potenziamento dei sistemi tecnologici ambientali in grado di migliorare gli aspetti di comfort ambientale e di sostenibilità attraverso soluzioni progettuali che mirino a testare i miglioramenti conseguiti, con l'obiettivo primario di incrementare la fruibilità degli spazi pubblici e loro vivibilità elevando la qualità e il benessere ambientale.

Metodologia e fasi operative della ricerca |

L'impianto metodologico si fonda sulla più recente letteratura scientifica e su documenti e report internazionali sui sistemi di simulazione progettuale input modelling-simulation-output simulation, al fine di costituire un quadro di riferimento per l'individuazione dei sistemi tecnologici ambientali oggetto di analisi scientifica (input modelling), la definizione di possibili scenari di intervento con la selezione delle soluzioni alternative più idonee in funzione dei risultati di simulazione ottenuti (simulation), infine la definizione di un modello di intervento adattabile ai diversi contesti (output modelling).

La ricerca si è sviluppata attraverso: 1) il reperimento dei dati climatici e dei principali fattori ambientali; 2) l'individuazione delle macro-aree di contesto rappresentative del comportamento bioclimatico dei due distretti urbani; 3) la definizione dei profili ambientali di contesto (materiali superficiali, vegetazione e altezze del contesto urbano) utilizzando l'osservazione diretta e gli stru-

menti di Google Earth e Google Street View; 4) la modellizzazione del microclima delle aree oggetto di studio ex ante, attraverso il software ENVI-met (versione 5.0.3) per valutare in che modo diversi modelli di sviluppo, comprese quantità variabili di pavimentazione e vegetazione, influiscono sulle temperature localizzate; 5) l'elaborazione di parametri ambientali quali la Air Temperature (AT; °C), la Physiological Equivalent Temperature (PET; °C), la Mean Radiant Temperature (MRT; °C) e la Wind Speed (WS; m/s); 6) l'elaborazione di parametri che evidenziano la condizione di benessere psicofisico dell'individuo rispetto all'ambiente cui si trova, il Predicted Mean Vote (PMV) e il Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD); 7) la valutazione e discussione degli esiti dei parametri esaminati con le simulazioni dinamiche e valutazione bioclimatico-ambientale sullo stato ante e post operam; 8) l'esame della correlazione tra temperatura dell'aria esterna e consumi energetici degli edifici e la costruzione di un quadro concept di riferimento e definizione dei sistemi tecnologici ambientali che caratterizzano l'intervento di rigenerazione urbana rispettando gli esiti analitici, valutativi e predittivi delle performance attese; 9) la predizione della variazione del consumo di energia per riscaldamento e raffrescamento attraverso lo scostamento della temperatura esterna ante e post per effetto degli interventi volti alla mitigazione del microclima; 10) la definizione dello scenario di intervento e valutazione sulla sua compatibilità con gli obiettivi prefissati e nello sviluppo della sperimentazione progettuale con la scelta di una o più soluzioni secondo una valutazione delle performance bioclimatiche ambientali riferite alle condizioni post operam di intervento; 11) la restituzione del quadro generale delle emissioni di CO₂ derivanti dal sistema costruito complessivo (energia, acqua, rifiuti, mobilità).

La sperimentazione sul caso del quartiere Vigne Nuove a Roma | Vigne Nuove è un distretto urbano situato nell'area nord-est della Capitale all'interno del Grande Raccordo Anulare, vicino alle borgate Tufello e Val Melania. Ha una estensione di poco più di 3 kmq, il 3% dell'intero Municipio III (Fig. 2). Il lotto è stato edificato dal 1973 al 1979 dall'Istituto Autonomo Case Popolari (IACP) di Roma con finanziamenti straordinari GESCAL del 1969. Il complesso edilizio, costituito da 524 alloggi per 3.300 abitanti, occupa un'area triangolare di quasi 8 ha che degrada da est a ovest con una pendenza pronunciata.

Il disegno planivolumetrico dell'area è costituito da tre elementi strutturali: un livello stradale, per la mobilità carrabile, parcheggi e aree verdi; un livello sopraelevato, composto da una passerella pedonale che supera il dislivello del terreno sui cui lati sono disposti edifici di uno o due piani che ospitano i servizi e le attrezzature collettive; e, infine, gli edifici residenziali di 7-8 piani (Fig. 3), oltre al porticato e un piano garage posizionati ai margini del lotto per circoscrivere gli spazi interni senza chiudere il perimetro dell'area, cui si aggiungono torri cilindriche esterne al corpo fabbrica contenenti le scale e gli ascensori. L'aggregazione in linea degli alloggi è misurata da una maglia strutturale scandita dall'alternarsi di una campata grande, pari a circa 7,5 metri di interasse e da una piccola di circa 3 metri, dove sono concentrati cucine e bagni e relativi impianti verti-



Fig. 1 | Aerial photo highlighting the Vigne Nuove and Casal Monastero 'Piani di Zona', Rome (credit: the Authors, 2022).

cali in una disposizione che si ripete per tutti i livelli e per tutti i tipi di alloggio e determina il landmark dei prospetti.

Il quartiere ambiva a risanare il tessuto senza regole delle periferie e costituire un polo attrattivo per la presenza di servizi pubblici e privati tali da animare la vita comunitaria. La differenza di quota nell'area ha però rotto la linearità del progetto e generato spazi bui e labirintici che hanno contribuito a rendere il luogo insicuro; poi l'incuria, il degrado e il vandalismo hanno fatto il resto. Gli spazi aperti presenti nel quartiere sono spesso poco mantenuti, di difficile accessibilità e fruibilità dei residenti; l'importante asse stradale di Via Giovanni Conti presenta specie arboree e arbustive principalmente caducifoglie, non in grado di schermare le emissioni degli agenti inquinanti e di costituire una barriera per i venti freddi invernali. Il rivestimento degli edifici è in pannelli di cemento e graniglia di marmo rosa, mentre gli spazi aperti sono caratterizzati da lastre in cemento per i percorsi pedonali e asfalto per i marciapiedi e sedi carrabili, il tutto fortemente degradato (Fig. 4). Il tessuto socio-economico è fragile, stigmatizzato dall'alto tasso di disoccupazione e dalla ridotta presenza di giovani famiglie con figli, tanto che spesso le superfici degli alloggi sono sovradimensionate. I consumi energetici del distretto urbano sono attualmente quantificati in 21.927.058 Kwh/a con emissioni di carbonio definite in 5.443.963 KgCO₂eq/a.

Il progetto di Vigne Nuove prevede quindi un miglioramento bioclimatico degli spazi aperti, secondo un incremento e una valorizzazione degli stessi mediante potenziamento delle masse ar-

boree e arbustive autoctone e native del luogo, capaci di mitigare il fenomeno delle isole di calore, contribuire fattivamente all'abbattimento delle emissioni di carbonio, favorire ombreggiamento e ridurre il fenomeno del run-off lungo le sedi viarie principali. Il progetto di rigenerazione urbana (Fig. 5) si articola in un potenziamento della mobilità sostenibile mediante incremento delle corse del bus, la sostituzione degli stessi con mezzi a ridotta lunghezza e a trazione elettrica (per collegare il quartiere con i limitrofi poli di scambio – fermata MB1 Jonio, stazione ferroviaria FL1 Nuovo Salaria) e la pianificazione di sedi ciclo-pedonali capaci di collegarsi con le aree limitrofe. Il retrofitting energetico degli edifici si concentra invece sull'aspetto morfo-energetico-tipologico e tecnologico degli stessi, degli spazi interstiziali ed esterni ove introdurre nuove attività per incentivare la socialità e la convivialità degli abitanti anche attraverso forme di condivisione come gli orti sociali.

Ai fini della rilevazione dei parametri ambientali sono state individuate 4 aree, caratterizzate da omogeneità delle caratteristiche morfologiche e identificate tramite l'individuazione di punti chiave baricentrici a ciascuna area, rappresentativi del comportamento microclimatico della struttura urbana e contrassegnati da lettere maiuscole progressive: il punto A in corrispondenza della sede stradale di Via R. Valentino all'altezza del plesso scolastico; il punto B, centrale rispetto alle aree destinate a parcheggio dei residenti poste tra i due edifici in linea; il punto C in corrispondenza dell'entrata del polo sanitario ASL Roma1; il punto D negli spazi aperti e permeabili che caratterizzano attualmente le aree attrezzate del quartiere (Fig. 6).

I risultati delle simulazioni effettuate sull'assetto di progetto sono riassumibili come segue. Nelle aree considerate la Temperatura dell'Aria (AT) diminuisce mediamente in estate di 1,7 °C (da 33,4 a 31,7 °C) e aumenta in inverno di un grado (da 9,4 a 10,4 °C). Nelle aree rilevate, la Temperatura Media Radiante (TMR) presenta invece una diminuzione di 7,8 °C in estate e un aumento di 3,8 °C in inverno. Le soluzioni tecnologiche adottate hanno permesso una riduzione della temperatura percepita in estate di 4,6 °C (da 36,8 a 32,2 °C) e un aumento in inverno di 2 °C (da 5,4 a 7,4 °C). La ventilazione naturale in estate aumenta di 0,5 m/s in tutte le aree, mentre in inverno è meglio controllata nelle aree più esposte, diminuendo di 1 m/s (nei punti A e B) e di 0,5 m/s nelle altre. Per quanto riguarda il benessere psico-fisico dei fruitori, il PMV (Predicted Mean Vote) mediamente diminuisce di 1 punto in estate e aumenta di 1,6 punti in inverno, di conseguenza la percentuale dei fruitori 'insoddisfatti' (PPD) scende in media dall'85% al 62% in estate e dal 47% al 28% in inverno (Fig. 7).

La sperimentazione sul caso del quartiere Casal Monastero a Roma

Casal Monastero è un piccolo quartiere alla periferia nord-est della Capitale ricadente nel Municipio IV, all'esterno del Grande Raccordo Anulare (GRA) e confina a sud con la Via Tiburtina (Fig. 8). Ha una estensione di 74 ha, il 2% dell'intero Municipio IV. Il quartiere è realizzato alla fine degli anni Novanta come nucleo di case costruite in cooperativa e finanziate dalla Regione, nella zona adiacente alla Via di Sant'Alessandro. Gli edifici sono quindi di relativa recente costruzione (Fig. 9), a pilotis e con l'involucro delle facciate in cortina, mentre gli spazi aperti sono caratterizzati da lastre in graniglia di cemento per i percorsi pedonali, lastre di basalto per i marciapiedi e asfalto per le sedi carrabili (Fig. 10). Essendo di recente progettazione, il quartiere offre una buona vivibilità non disgiunta da un senso di abbandono e di isolamento a causa della distanza dal centro e per la cesura rappresentata dal GRA. Le costruzioni presenti nella spina centrale (Viale Ratto delle Sabine) non superano i sei piani con il piano terra destinato a servizi; gli edifici non sono addossati e per la maggior parte la tipologia è quella delle villette a schiera con un piccolo giardino.

Diverse sono le criticità e tra queste un inadeguato livello di trasporti pubblici (sono presenti solo due linee di autobus che transitano con poca frequenza e manca prolungamento della linea B della metropolitana), mancano spazi per l'aggregazione sociale, i negozi sono limitati a quelli per i beni essenziali, i servizi primari lasciano a desiderare, mentre è solo informale il sentiero ciclo-pedonale che consente di arrivare a Torraccia, oltre il GRA. I consumi energetici del distretto urbano sono attualmente quantificati in 20.910.933 Kwh/a con emissioni di carbonio definite in 7.324.053 KgCO₂eq/a.

Il progetto di rigenerazione di Casal Monastero (Fig. 11) si definisce secondo la concezione di un boulevard quale asse centrale del quartiere, che riorganizza la mobilità introducendo piste ciclo-pedonali e navette elettriche in grado di collegare il quartiere, attualmente fortemente isolato, ai limitrofi poli di scambio (fermata MB1 Rebibbia, stazione ferroviaria Linea Roma-Sulmona-Pesca 'Tor Sapienza'). La valorizzazione degli spazi aperti pre-

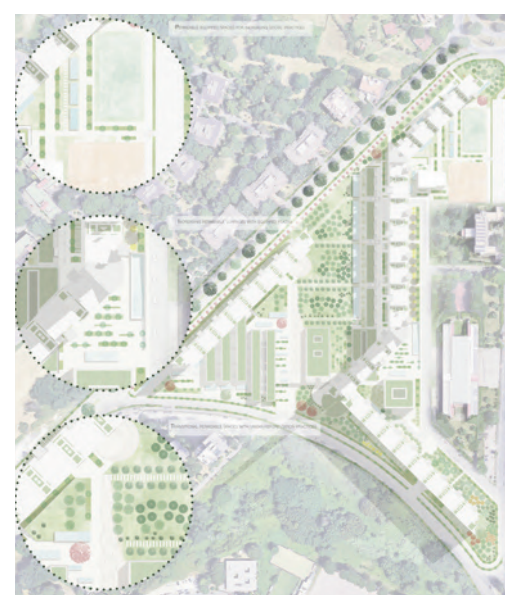
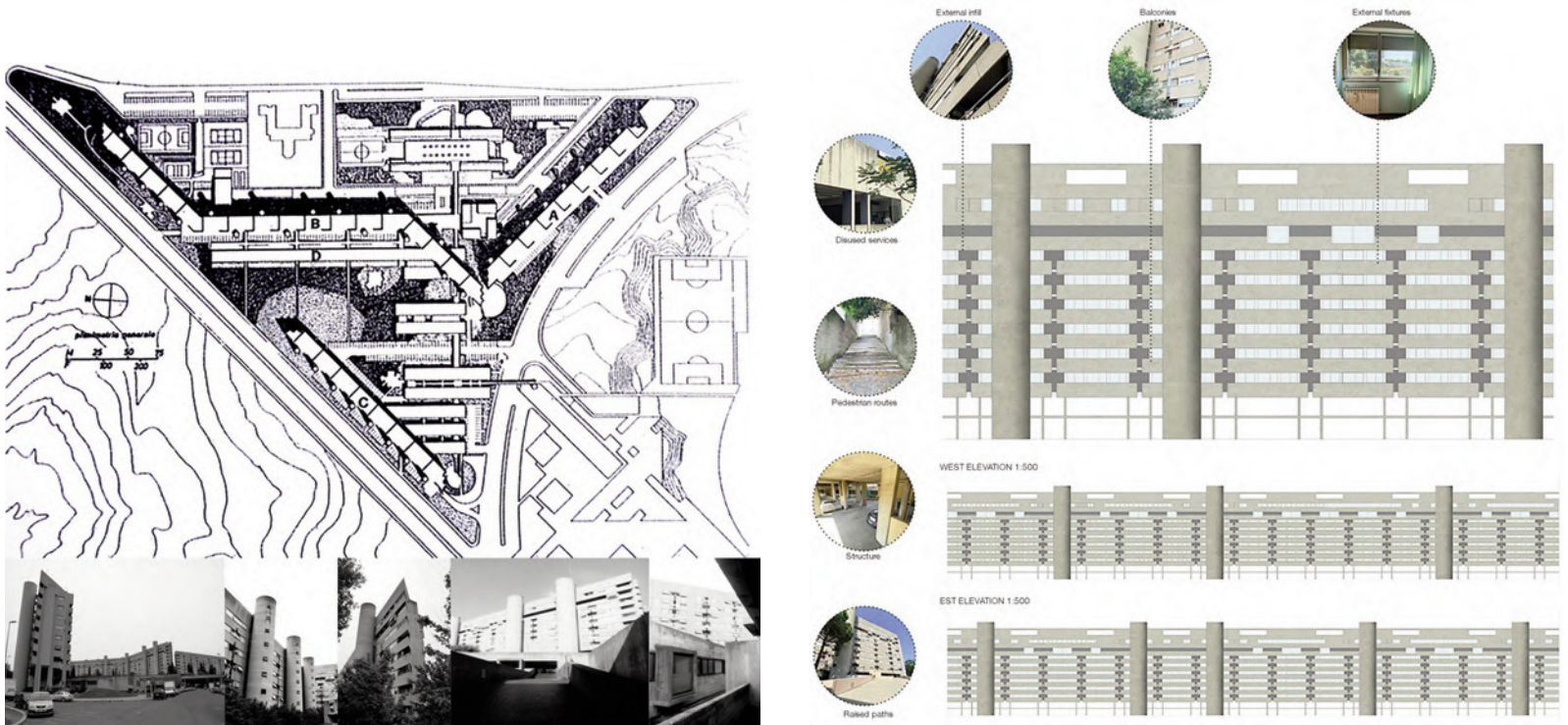


Fig. 2 | Planimetry of the Vigne Nuove 'Piano di Zona' (Rome) and views of the urban fabric (credit: the Authors and C. Dalsasso, 2021-2022).

Fig. 3 | Elevations of the typical building in the Vigne Nuove 'Piano di Zona', Rome (credit: the Authors and C. Dalsasso, 2021-2022).

Fig. 4 | Mapping of the materials and the outdoor spaces ante and post operam of the Vigne Nuove 'Piano di Zona', Rome (credit: the Authors and C. Dalsasso, 2021-2022).

Fig. 5 | Urban regeneration proposal for the Vigne Nuove 'Piano di Zona', Rome (credit: the Authors and C. Dalsasso, 2021-2022).



Fig. 6 | Ante operam fluid dynamics simulations of the Vigne Nuove 'Piano di Zona', Rome (credit: the Authors and C. Dalsasso, 2021-2022).

vede una riqualificazione degli stessi, l'introduzione e/o potenziamento delle specie arboree e arbustive native del luogo in grado di migliorare l'abbattimento delle emissioni di carbonio del distretto urbano e l'aumento delle superfici permeabili attraverso una sensibile riduzione degli assi stradali presenti. La riqualificazione energetica degli edifici individua quale asse strategico l'incremento della produzione di energia da fonti rinnovabili, un miglioramento energetico delle strutture edilizie presenti e delle condizioni di comfort termoisometrico mediante coperture a tetto verde e con tegole. Si prevede inoltre il recupero e la gestione delle acque grigie e meteoriche attraverso il potenziamento dell'impianto di depurazione del quartiere

a fini di irrigazione e riutilizzo per i servizi igienici degli alloggi presenti.

Per la rilevazione dei parametri ambientali sono stati individuati, in funzione dello schema urbanistico, 5 aree del distretto in esame e altrettanti punti baricentrici a queste con modalità analoghe a quelle indicate per Vigne Nuove in termini di omogeneità (i punti sono contrassegnati con lettere maiuscole progressive): il punto A sud del distretto, nello spazio aperto permeabile prospiciente Viale Ratto delle Sabine; il punto B nell'intersezione tra l'asse viario centrale (Viale Ratto delle Sabine) e Via Monteleone Sabino che risente del limitrofo 'Parco del Sole'; il punto C all'interno degli spazi di corte che caratterizzano la porzione

di edilizia residenziale pubblica; il punto D nel punto di intersezione tra l'asse viario centrale, Via Camilla Virginia Savelli e l'adiacente al Parco attrezzato 'V. Savelli'; il punto E nello spazio aperto impermeabile situato a Nord del distretto, destinato a parcheggi (Fig. 12).

Il progetto di rigenerazione urbana e il rimboscimento con funzione di schermo e di miglioramento del comfort microclimatico, hanno permesso una riduzione della Temperatura dell'Aria (AT) nel periodo estivo di 1 °C (da 30,5 a 29,5 °C) e un aumento di 0,7 °C in inverno (da 9,9 a 10,6 °C). La Temperatura Media Radiante (TMR) passa da 67 a 61 °C in estate e da 41 a 46 °C in inverno. Le pratiche di rimboscimento urbano, seguite

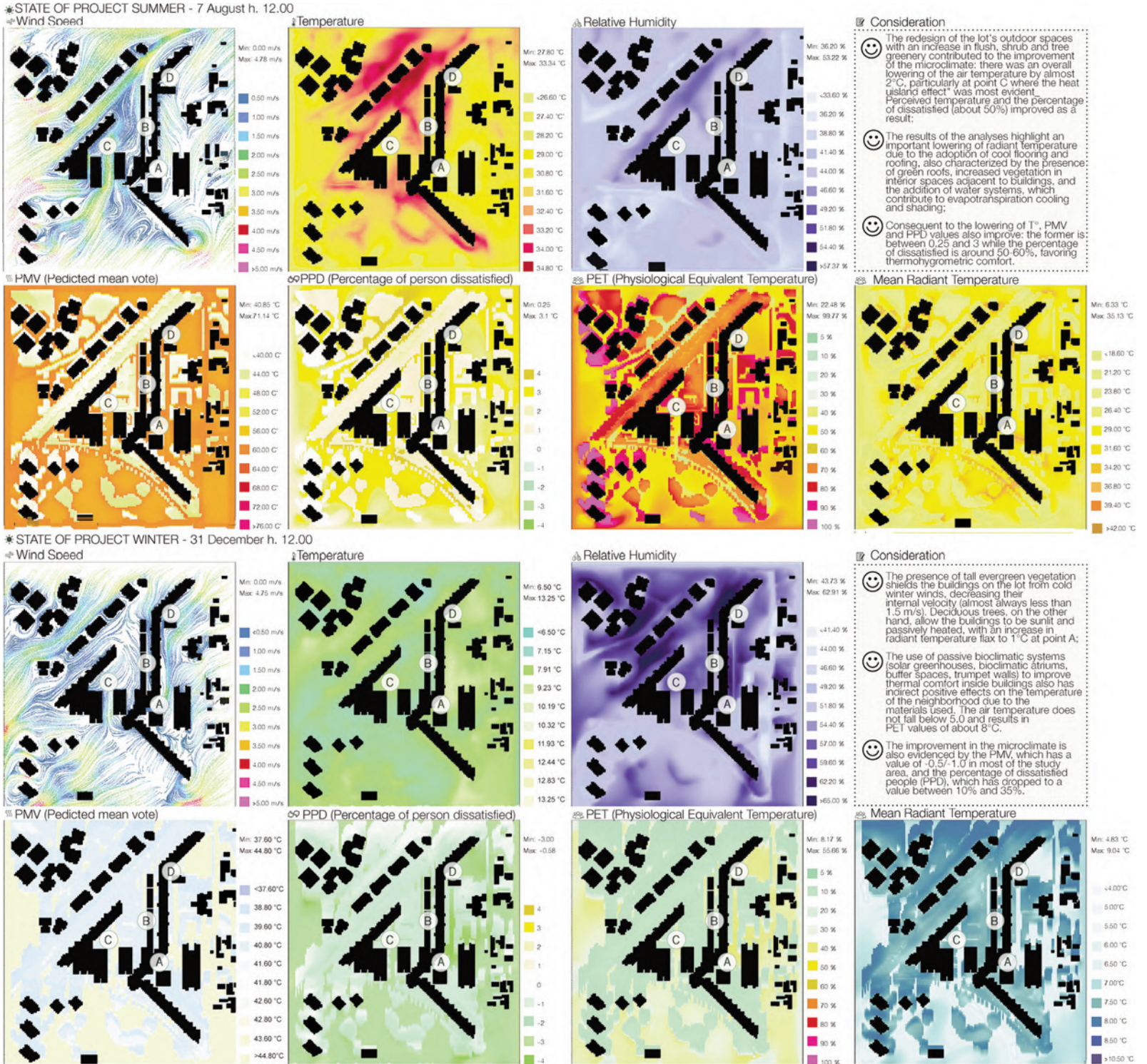


Fig. 7 | Post operam fluid dynamics simulations of the Vigne Nuove 'Piano di Zona', Rome (credit: the Authors and C. Dalsasso, 2021-2022).

da un consistente incremento delle aree permeabili e valorizzazione delle esistenti, hanno permesso una riduzione della temperatura percepita in estate di 1,1 °C nelle aree A e D, di 0,7 °C in C, 0,5 °C in E e 0,4 °C in B, mentre in inverno si registra un aumento medio di 0,80 °C in ogni area del distretto analizzato. Si rileva inoltre, nel periodo estivo, un aumento della Ventilazione Naturale (WS) di 1,1 m/s nel punto B e da 0,1 a 0,6 m/s nelle altre aree, mentre in inverno aumenta mediamente di 0,6 m/s. Relativamente alle condizioni di benessere psico-fisico dei fruitori, il PMV mediamente diminuisce di 1,2 in estate e aumenta di 0,5 in inverno; la percentuale dei fruitori 'insoddisfatti' (PPD) si riduce in media in estate dal 100 al

77% nel periodo estivo e dal 75 al 72% in inverno (Fig. 13).

Discussione dei risultati | Per entrambi i casi di studio, Vigne Nuove e Casal Monastero, la sperimentazione ha evidenziato l'efficacia della soluzione progettuale proposta consistente nel miglioramento delle condizioni microclimatiche, nell'efficientamento degli involucri edilizi avvalendosi di tecnologie passive, nell'introduzione di dispositivi a risparmio energetico e di impianti di illuminazione pubblica e privata a LED (Figg. 14, 15) che possono sintetizzarsi nella riduzione dei consumi energetici del 70% (2.189.922 Kwh/a) per Vigne Nuove (Fig. 16) e dell'85% (2.121.119 Kwh/a) per

Casale Monastero (Fig. 17), con una contrazione rispettivamente del 60% (2.121.119 KgCO₂eq) e del 72% (2.080.324 KgCO₂eq) delle emissioni di carbonio. Tale richiesta energetica può essere interamente soddisfatta da sistemi integrati per la produzione di energia da fonti rinnovabili quali fotovoltaico, solare e eolico, posti principalmente nelle coperture degli edifici, nonché da un recupero di energia proveniente dalla gestione della biomassa degli spazi aperti, dalla frazione organica inerente al ciclo dei rifiuti del distretto e dal recupero di olio vegetale esausto.

Conclusioni e prospettive della ricerca | Il presente contributo illustra i risultati dell'applicazione

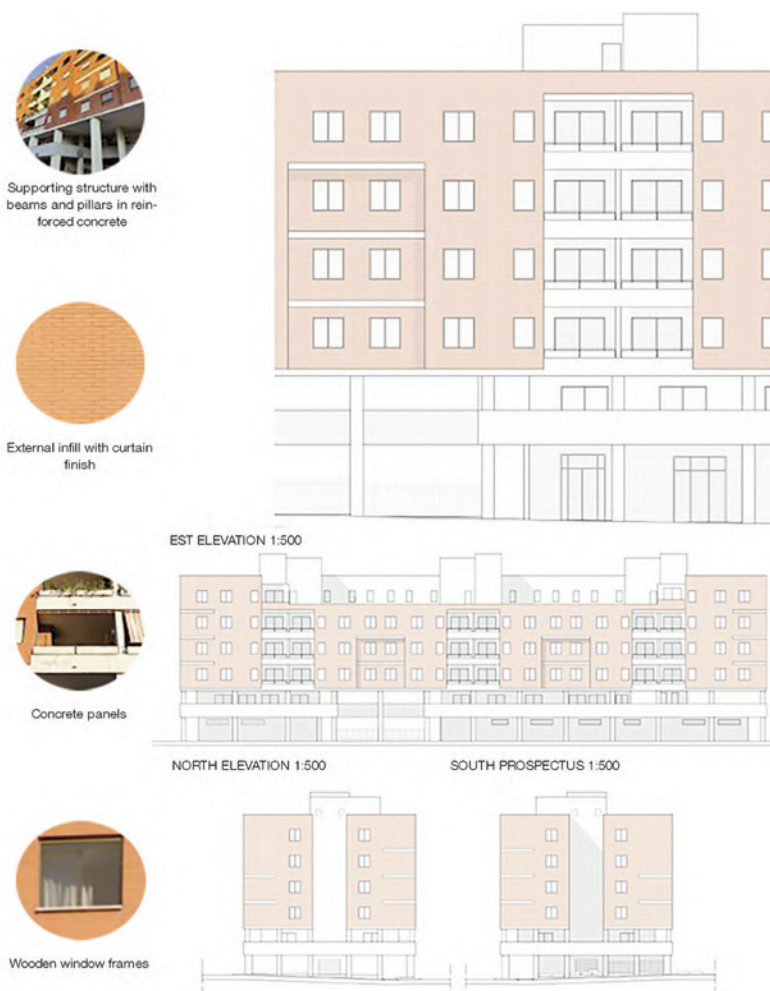


di modelli di calcolo predittivi multiscalari e multi-criteriali di carattere tecnologico-ambientale nel progetto di architettura, con l'obiettivo di offrire risposte alle sfide dell'adattamento e della mitigazione del cambiamento climatico, da conseguire attraverso la loro replicabilità in altri contesti aventi analoghe caratteristiche. In tal modo si mira a dare alla sperimentazione il carattere di testing e verifica in una costante evoluzione in progress dell'approccio metodologico.

L'abbattimento delle emissioni di gas serra, secondo un orientamento scientifico consolidato e confermato dalla presente ricerca, richiede un approccio olistico in grado di ridurre al minimo l'utilizzo di risorse fossili e gli impatti sull'ambiente, la cui efficacia è incrementata da un'accurata valutazione del sistema costruito e conoscenza del suo comportamento prestazionale. In tal senso il ricorso alla simulazione e modellazione può supportare la definizione di adeguate risposte in termini ambientali ed energetici. I modelli sviluppati in quest'ottica sono infatti destinati ad assumere una centralità nella progettazione ambientale, permettendo la misurazione di fattori quali-quantitativi (Tabb. 1, 2). Al riguardo si evidenzia il profilo innovativo dell'approccio metodologico, sviluppato quale quadro di riferimento a supporto della fase sperimentale-progettuale (attraverso attività di input modelling/simulation ex ante e output modelling/simulation ex post) per la costruzione di modelli progettuali con approccio multiscalare e con carattere tecnologico-ambientale, finalizzati a garantire simultaneamente il miglioramento del comfort ambientale negli spazi outdoor, intermedi e indoor in ottica di adattamento agli impatti del cambiamento climatico, e la riduzione del fabbisogno energetico, ai fini dell'abbattimento delle emissioni di CO₂ e dunque di mitigazione delle cause del cambiamento climatico nell'ambiente costruito (Tabb. 3, 4).

Il contesto globale del settore delle costruzioni si sta orientando verso una transizione energetica e socio-economica improntata al risparmio dei consumi, della riduzione delle emissioni e della completa circolarità delle risorse, indirizzando la programmazione della politica nazionale e internazionale a supporto della rigenerazione di aree urbane. Gli scenari progettuali proposti per i distretti urbani esaminati esemplificano proprio l'implementazione di tale nuovo approccio. Si evidenzia inoltre come la progettazione tecnologica ambientale, anche nella fase di sperimentazione sui due quartieri di edilizia residenziale pubblica, sia fattore chiave per la valorizzazione dell'ambiente costruito, mostrando importanti soluzioni tecnologiche negli aspetti bioclimatici, energetici e termici e nelle soluzioni di controllo e ottimizzazione del microclima degli spazi aperti.

La costruzione di scenari di rigenerazione urbana, supportata dai risultati di simulazioni fluidodinamiche mirate, ha permesso infine di valutare soluzioni, metodologie, procedure e strumenti di applicazione in grado di indirizzare correttamente gli interventi secondo gli assi strategici di innovazione tecnologica e adattamento climatico. Tale metodologia, definita secondo i concetti di confrontabilità, innovatività e sostenibilità, permette quindi di indagare i temi di applicabilità e efficacia delle strategie proposte in termini di ricadute sul tessuto economico e sociale dell'area oggetto di intervento, con il fine ultimo di proporre soluzioni



confrontabili, replicabili e misurabili in termini di performance e benessere.

Rispetto alle potenziali ricadute della ricerca, si evidenzia come il tema risulti di grande rilevanza scientifica alla luce delle strategie e delle politiche europee e nazionali, illustrate nel Piano NextGenerationEU² e nel Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (Repubblica Italiana, 2021). In tal senso si rileva l'importanza degli impatti positivi conseguibili tramite la definizione di una metodologia progettuale replicabile nei numerosi distretti urbani che, a livello nazionale ed europeo, presentino caratteristiche simili nell'ambito urbano e che, auspicabilmente, verranno coinvolti nei processi di rigenerazione urbana attivabili con i fondi di cui ai Piani succitati.

In questa ottica lo sviluppo di ricerca principale aperto dal presente contributo riguarda l'affinamento progressivo dei modelli per la quantifi-

cazione della riduzione dei consumi energetici degli edifici e delle relative emissioni climalteranti, ottenibile con strategie di mitigazione delle condizioni del microclima urbano negli spazi esterni e intermedi. Infine un'ulteriore prospettiva di ricerca aperta dal presente lavoro concerne il tema della disponibilità dei dati sulle emissioni climalteranti, incorporate e operazionali, nel settore nazionale delle costruzioni, al fine di una maggiore affidabilità dei dati di input, con più forte rappresentatività a livello locale, nei modelli di valutazione e verifica delle prestazioni.

Our planet is undergoing momentous environmental changes that are increasingly impacting our way of living and dwelling. The situation is also further complicated by Russia's invasion of Ukraine,

with the ensuing explosion of the energy crisis impacting all countries and bringing effects difficult to foresee. In each case, the threshold reached in terms of CO₂ equal to 421 ppm, 50% more than during the pre-industrial period (National Oceanic and Atmospheric Administration, 2022) requires us to immediately and radically change course in the approach to design to which to devote attention and sensitivity as relates to environmental resources; a new approach becomes essential in carrying out any regeneration intervention and attaining the right comfort for the occupants, by means of passive and active strategies based on the use of renewable sources (Tucci, 2018). These profound changes require new models of responsible and sustainable development, capable of improving quality of life while respecting the environment (Battisti and Santucci, 2020). The architecture sector is at the centre of this change, forcefully



Fig. 10 | Mapping of the materials and the outdoor spaces ante and post operam of the Casal Monastero 'Piano di Zona', Rome (credit: the Authors and S. Urbinati, 2021-2022).

Fig. 11 | Urban regeneration proposal for the Casal Monastero 'Piano di Zona', Rome (credit: the Authors and S. Urbinati, 2021-2022).



Previous page

Fig. 8 | Aerial photo of the Casal Monastero 'Piano di Zona' and views of the urban fabric, Rome (credit: Cartoteca PDTA, 'Sapienza' University of Rome).

Fig. 9 | Elevations of the typical building in the Casal Monastero 'Piano di Zona', Rome (credit: the Authors and S. Urbinati, 2021-2022).

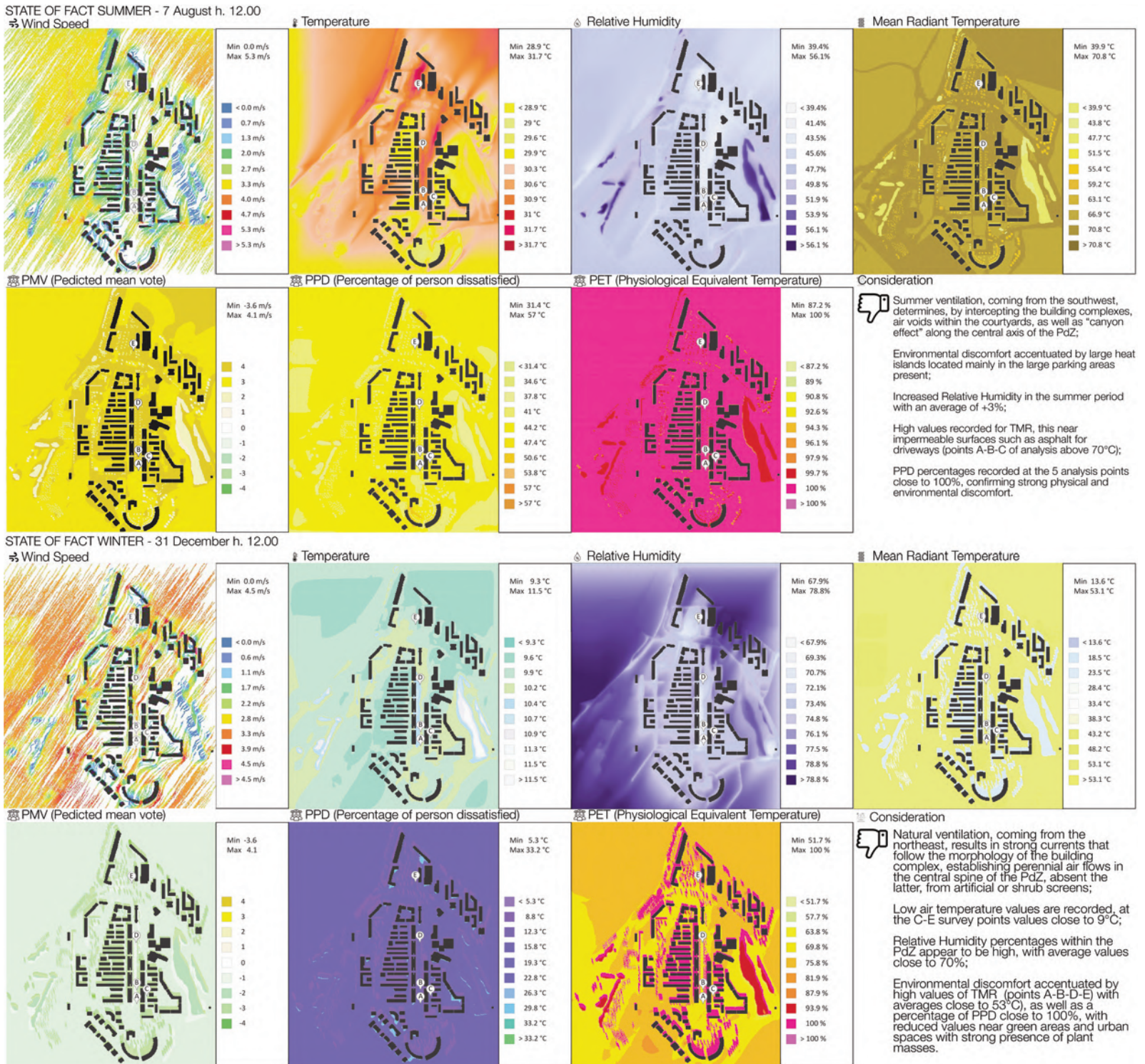


Fig. 12 | Ante operam fluid dynamics simulations of the Casal Monastero 'Piano di Zona', Rome (credit: the Authors and S. Urbinati, 2021-2022).

demanding a new, integrated and transversal approach in the entire process of programming, design, and production, fully integrated with the innovative result of the digital transition (Abdolhosseini Qomi et alii, 2016).

Investigating the existing building stock – more than 65% of which predating the first energy savings law (ISTAT, 2021) – requires responding to the commitments taken on in a European setting, aimed at reducing the emissions of greenhouse gases, derived first and foremost from energy consumption for heating and cooling, with a view to a decarbonization of the sector that can no longer be delayed (Kuittinen et alii, 2021; IEA, 2021). Continuous technological innovation has

led to the development of increasingly efficient software packages able to simulate actual behavioural characteristics more accurately. This allows, within a given 'virtual' space, a construction's environmental and energy performance in an urban district to be studied, while defining full-blown intervention scenarios (Erell, Pearlmutter and Williamson, 2011). The achievement of high performance of fluid dynamic behaviours in indoor comfort, and the very idea of sustainability included in the growing developments of the tools of Information and Communication Technology (Maksimovic, 2018), require specific, reiterated analyses with alternative technical solutions implemented during the decision-making process. These

solutions require an increasingly active role of digital technologies and a planning managed by scientific parameters (Boeri et alii, 2017).

This paper's objective, within the context of the approaches belonging to Technological and Environmental Design, is to illustrate the results of research activities aimed at defining directions and strategies for the use of passive environmental/technological systems in the regeneration of architectures and existing urban districts aided by the formulation of dynamic predictive calculation models in support of design, organized into: framework of reference data; simulations on the state of the art (ex-ante status); critical assessments of the results, obtained following the adop-

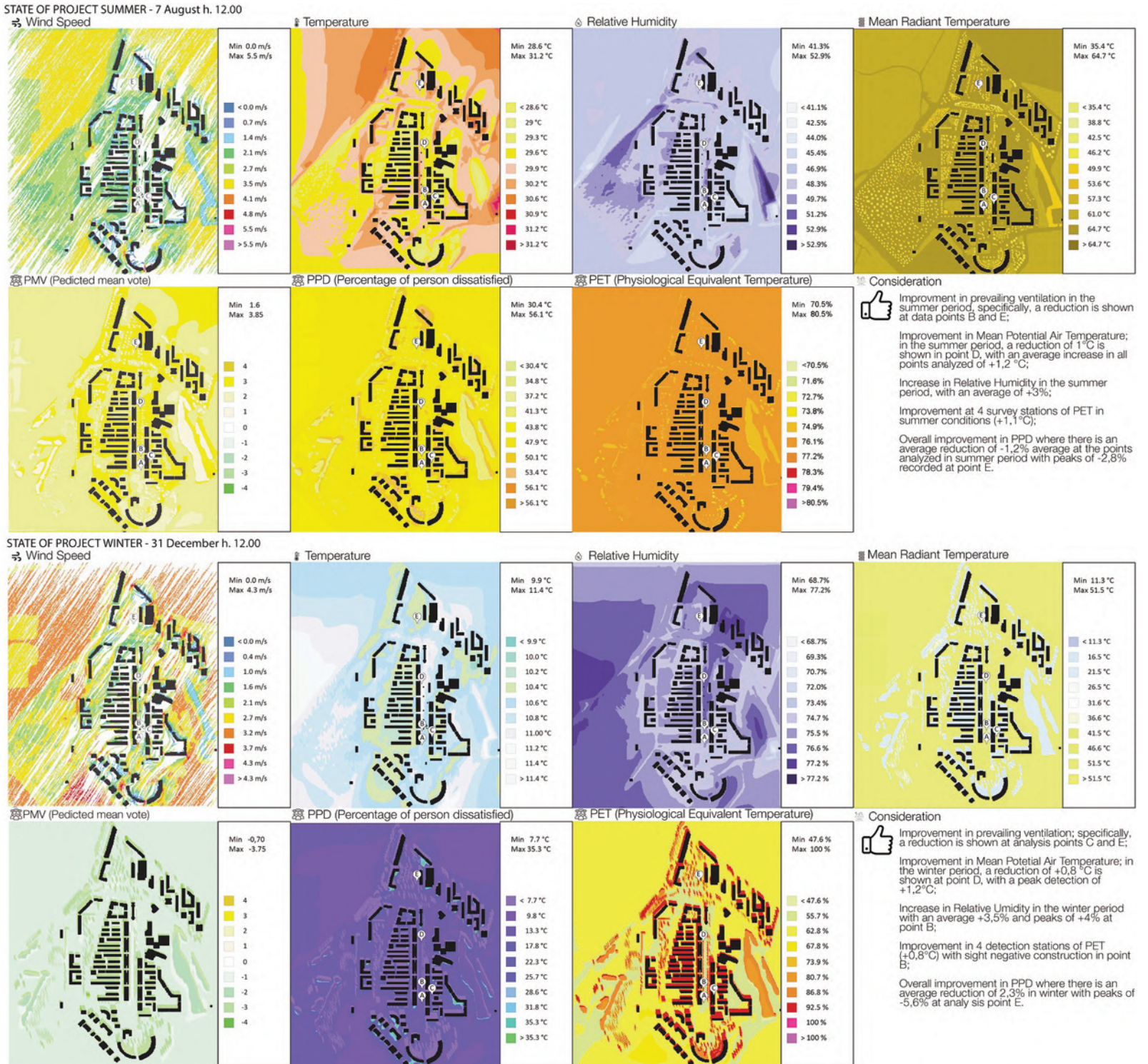


Fig. 13 | Post operam fluid dynamics simulations of the Casal Monastero 'Piano di Zona', Rome (credit: the Authors and S. Urbinati, 2021-2022).

tion of intervention scenarios and repeatedly modifying arrangements and functions so as to offer ever higher performance. These innovative models are aimed at defining solutions appropriate for the testing and verification results obtained from the dynamic simulations, while formulating adaptive intervention models that are more effective in the setting of reference and the environmental microclimate conditions (Makropoulou and Gospodini, 2016; Santamouris et alii, 2015); the effectiveness of the combination of energy efficiency strategies with those of regulating the building envelopes for external environmental factors is verified by quantifying the buildings' emissions of embodied and operational carbon (Carrada and Frizza, 2021).

Since a sustainable regeneration can be effected only after carefully assessing the performance of the built system as a whole and its carbon footprint, a clear methodology to quantify the emissions must be defined. To date, there is no quantification of the contributions towards reducing the emissions derived from mitigation of the urban microclimate, which the study instead implements in the assessment model by associating it with energy consumption thanks to ex-ante and post operam fluid dynamic simulations, put in place through the use of specific software packages allowing the obtained results to be critically quantified and discussed. The paper presents the results of the analysis of various technological so-

lutions for the urban regeneration of Rome's Vigne Nuove and Casal Monastero neighbourhoods (Fig. 1), as part of the activity provided for by the 2017 PRIN (project of overriding national interest) 'Tech Start - Key Enabling Technologies and Smart Environment in the Age of Green Economy - Convergent Innovations in the Open Space/Building Systems for Climate Mitigation', carried out by the Research Unit of 'Sapienza' University of Rome's Department of Planning, Design, Technology of Architecture, which also involved other peripheral areas of the Capital¹. The urban regeneration proposals for the two study cases were geared to the ability to introduce and strengthen technological and environmental systems able to

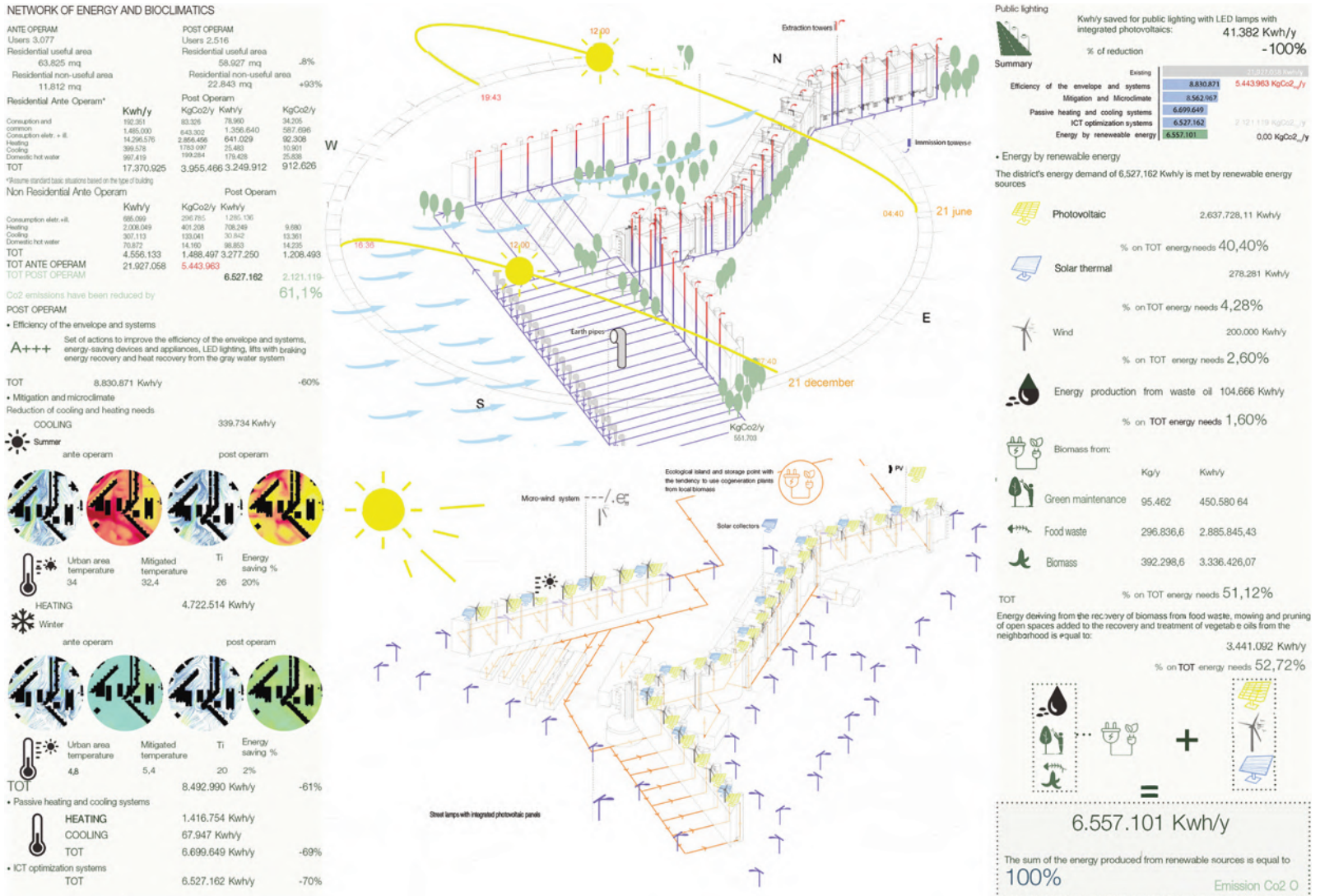


Fig. 14 | 'Energy and Bioclimatic' network with the environmental-technological solutions adopted in the Vigne Nuove 'Piano di Zona', Rome (credit: the Authors and C. Delsasso, 2021-2022).

improve the aspects of environmental comfort and sustainability through design solutions that aim to test the achieved improvements, with the primary objective of increasing the usability of public spaces and their liveability by augmenting environmental quality and well-being.

Research methodology and operative phases

The methodological system is based on the latest scientific literature and international documents and reports on the 'input modelling-simulation-output simulation' design simulation systems, constituting a framework of reference for identifying the technological and environmental systems that are the object of scientific analysis (input modelling), defining possible intervention scenarios with the selection of the most appropriate alternative solutions depending on the obtained simulation results (simulation), and, lastly, defining an intervention model that can be adapted to the various contexts (output modelling).

The research was developed through: 1) obtaining the climate data and the main environmental factors; 2) identifying the contextual macro-areas representing the two urban districts' bioclimate behaviour; 3) defining the contextual environmental profiles (surface materials, vegetation and heights of the urban fabric), using direct ob-

servation and Google Earth and Google Street View tools; 4) ex ante modelling of the microclimate of the areas being studied, using ENVI-met software (version 5.0.3), in order to assess how different development models, including variable quantities of pavement and vegetation, influence the localized temperatures; 5) developing such environmental parameters as Air Temperature (AT; °C), Physiological Equivalent Temperature (PET; °C), Mean Radiant Temperature (MRT; °C) and Wind Speed (WS; m/s); 6) developing parameters that highlight the condition of the individual's mental and physical well-being as relates to the environment where he or she is, the Predicted Mean Vote (PMV), and the Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD); 7) assessing and discussing the results of the parameters examined with the dynamic simulations and bioclimate-environmental assessment of the ex-ante and post operam state; 8) examining the correlation between outside air temperature and the energy consumption of the buildings, and building a concept framework of reference for the definition of the technological and environmental systems characterizing the urban regeneration intervention, while respecting the analytic, assessment, and predictive results of the expected performance; 9) predicting the variation of energy consumption due to heat-

ing and cooling, through the deviation of the outside temperature, before and after, as an effect of interventions aimed at mitigating the microclimate; 10) defining the intervention's scenario and assessing its compatibility with the preset objectives and in the development of the design experiment, with the choice of one or more solutions depending on an assessment of environmental bioclimate performance with reference to the intervention's post operam conditions; 11) plotting the general framework of CO₂ emissions derived from the overall built system (energy, water, waste, mobility).

Experimentation on the case of the Vigne Nuove neighbourhood in Rome

Vigne Nuove is an urban district located in the northeastern area of Rome inside the ring road (Grande Raccordo Anulare), near the Tufello and Val Melancia quarters. Its area covers slightly more than 3 km², 3% of the entire Municipio III municipal district (Fig. 2). The plot was built between 1973 and 1979 by the Rome public housing authority (Istituto Autonomo Case Popolari - IACP) with extraordinary GESCAL funding in 1969. The building complex, consisting of 524 dwellings for 3,300 inhabitants, occupies a triangular area covering nearly 8 ha, with a pronounced slope from east to west.

NETWORK OF ENERGY AND BIOCLIMATICS

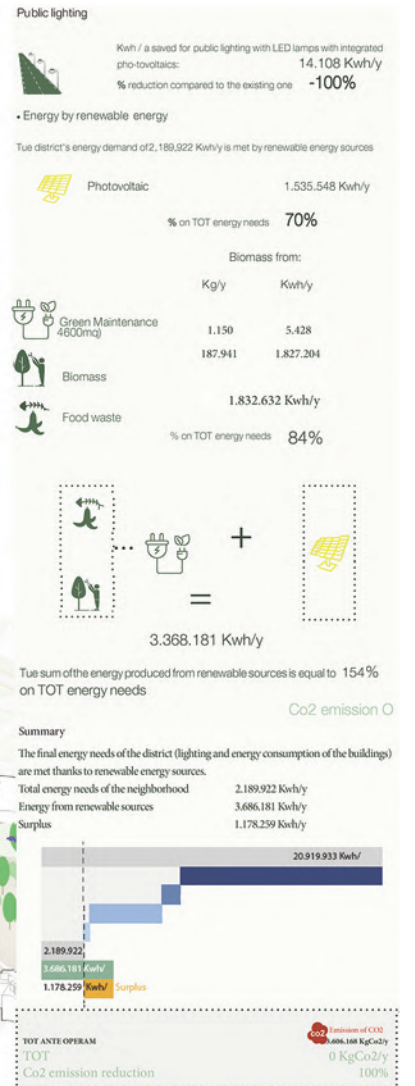
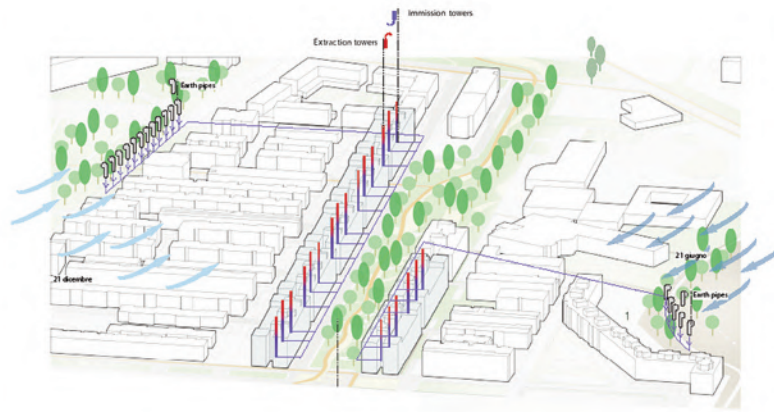
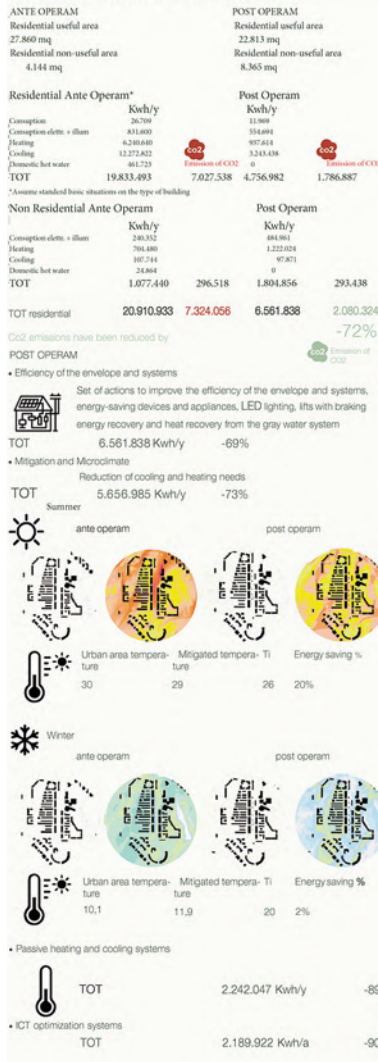


Fig. 15 | 'Energy and Bioclimatic' network with the environmental-technological solutions adopted in the Casal Monastero 'Piano di Zona', Rome (credit: the Authors and S. Urbinati, M. M. Pani, F. Nava and V. Tulelli, 2021-2022).

The area's design, in terms of layout and volume, consists of three structural elements: a road level for vehicular mobility, parking, and green areas; an elevated level, consisting of a pedestrian footway that passes over the difference in elevation of the terrain on whose sides are placed the one- or two-storey buildings housing the services and the collective equipment; and lastly, the 7-8-storey residential buildings (Fig. 3), in addition to the arcade and a garage level positioned at the margins of the plot, circumscribing the internal spaces without closing the area's perimeter, to which cylindrical towers outside of the building, containing stairways and lifts, are added. The in-line aggregation of dwellings is measured by a structural mesh articulated by the alternation of a large span, equal to approximately 7.5 metres between the axes, and a small one of about 3 metres, containing the kitchens and baths and their vertical systems in an arrangement repeated on all levels and for all types of dwelling, and determines the landmark for the views.

The neighbourhood aimed to restore the unregulated fabric of the peripheries and to constitute a pole of attraction for the presence of public and private services able to enliven community life. The area's difference in elevation, however, broke the design's linearity and generated dark

and labyrinthine spaces that contributed towards making the place unsafe; neglect, decay, and vandalism then did the rest. The open spaces present in the neighbourhood are all poorly maintained, hard to access, and difficult for the residents to use; the major road axis of Via Giovanni Conti has mainly deciduous tree and shrub species unable to shield the emissions of pollutants or to constitute a barrier against cold winter winds. The buildings are clad in panels of concrete and pink marble grit, while the open spaces are marked by concrete slabs for pedestrian paths and asphalt for sidewalks and road beds, all of which are highly degraded (Fig. 4). The socioeconomic fabric is fragile, stigmatized by high unemployment and a reduced presence of young families with children, to the point that the housing is often oversized in area. The urban district's energy consumption is currently quantified as 21,927,058 Kwh/year with carbon emissions defined at 5,443,963 KgCO₂eq/year.

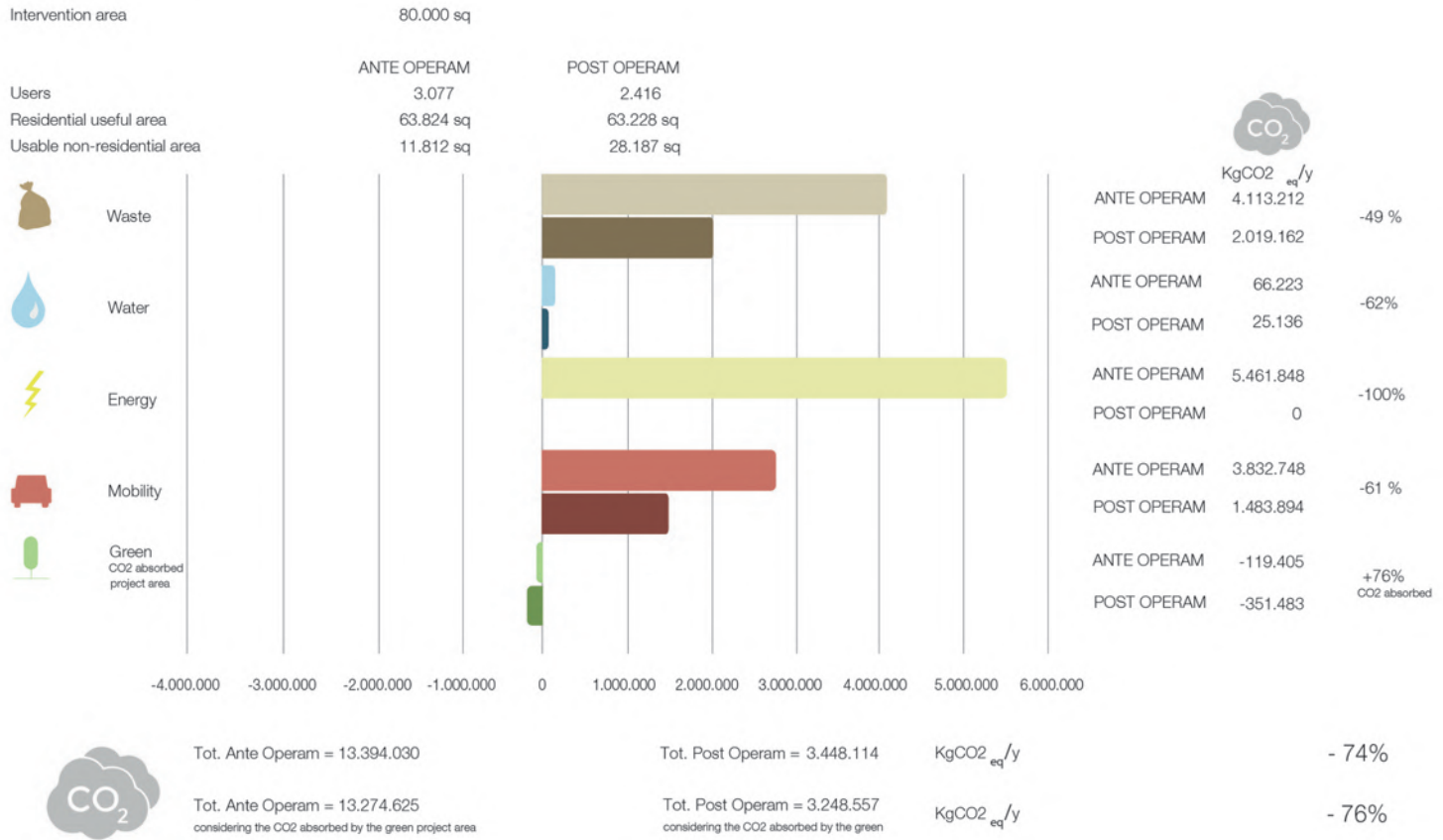
The Vigne Nuove project, therefore, calls for a bioclimatic improvement of the open spaces, in accordance with their increase and valorization through enhanced masses of trees and shrubs, autochthonous and native to the place and able to: mitigate the phenomenon of heat islands; to make a real contribution to eliminating di carbon

emissions; to promote shade; to reduce the phenomenon of run-off along the main roads. The urban regeneration design (Fig. 5) is articulated in a strengthening of sustainable mobility through increased bus lines, their replacement with reduced-length, electric vehicles (to link the neighbourhood to the nearby interchange hubs – the MB1 Jonio stop, the Nuovo Salario FL1 railway station), and the planning of bike-pedestrian paths capable of providing connections to the neighbouring areas. On the other hand, the buildings' energy retrofitting focuses on the morphological/energy/typological and technological aspects of the buildings, and of the interstitial and external spaces in which to introduce new activities to incentivize the sociality and convivial life of the inhabitants, also through such forms of sharing as community vegetable gardens.

For the purposes of measuring the environmental parameters, 4 areas have been determined, marked by the homogeneity of morphological characteristics and identified through determination of key points at the barycentre of each area, representative of the urban structure's microclimatic behaviour and marked by progressive capital letters: point A in correspondence with the roadbed of Via R. Valentino at the school complex; point B, at the centre of the areas destined

GREEN CITY AND CLIMATE MITIGATION: REGENERATION PROJECT OF THE ERP DISTRICT OF VIGNE NUOVE, ROME

Final balance of CO₂ emissions



GREEN CITY AND CLIMATE MITIGATION: REGENERATION PROJECT OF THE ERP DISTRICT OF CASAL MONASTERO, ROME

Final balance of CO₂ emissions

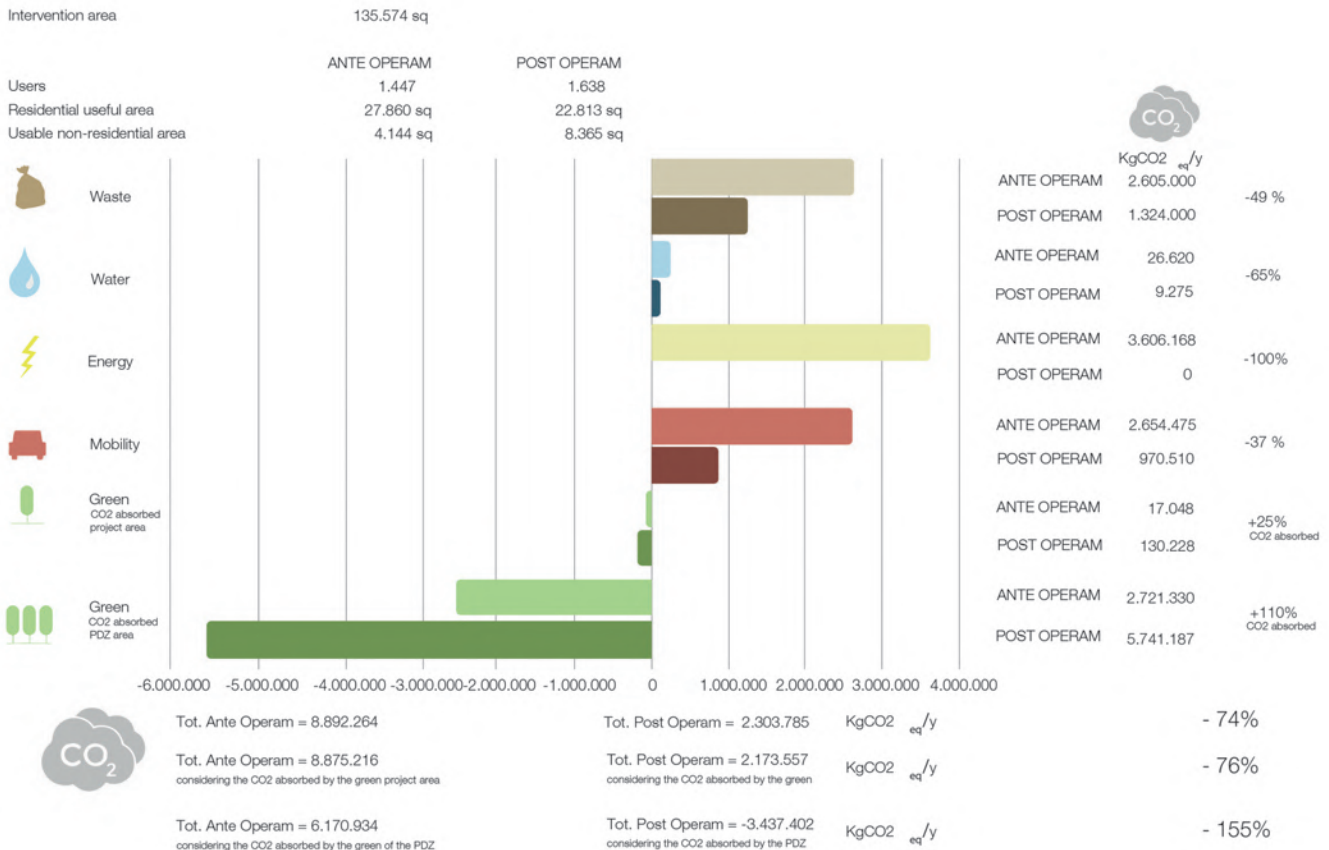


Fig. 16 | Final balance of CO₂ emissions with decarbonisation scenarios of the Vigne Nuove 'Piano di Zona', Rome (credit: the Authors and C. Delsasso, 2021-2022).

Fig. 17 | Final balance of CO₂ emissions with decarbonisation scenarios of the Casal Monastero 'Piano di Zona', Rome (credit: the Authors and S. Urbinati, 2021-2022).

PdZ Vigne Nuove	Winter Ante Operam				Summer Ante Operam			
	A	B	C	D	A	B	C	D
Detection points	A	B	C	D	A	B	C	D
Wind speed (m/s)	2.5	2	1.5	1.5	1.5	1.5	2	1.5
Temperature (°C)	9.1	9.3	9.6	9.4	33	33.8	33.6	33.2
TMR (°C)	39.1	39.8	39.1	38.4	72	64	56	68
PMV	-3	-3	-3	-4	2	3	2	4
PPD (%)	60	50	40	40	100	100	70	70
1PET	6.5	4	6	5	36.8	36.8	34.2	39.4

PdZ Vigne Nuove	Winter Post Operam				Summer Post Operam			
	A	B	C	D	A	B	C	D
Detection points	A	B	C	D	A	B	C	D
Wind speed (m/s)	1.5	1	1	1	2	1	2.5	1
Temperature (°C)	10.1	10.2	10.5	10.8	31	32	32.2	31.6
TMR (°C)	41.4	43.2	43.3	43.8	60	58	52	59
PMV	-1.5	-0.5	-2	-2.5	1	2	1	3
PPD (%)	40	10	30	35	70	70	60	50
PET	7.4	7.8	7.5	7	33.8	31.6	29	34.2

Tabb. 1, 2 | Results of the ante and post operam winter and summer bioclimatic simulations of the Vigne Nuove 'Piano di Zona', Rome (credits: the Authors, 2022).

for the residents' parking placed between the two-row buildings; point C in correspondence with the entrance to the local health service's ASL Roma1 location; point D in the open and permeable spaces currently characterizing the neighbourhood's equipped areas (Fig. 6).

The results of the simulations performed on the project's arrangement may be summarized as follows. In the considered areas, the Air Temperature (AT) showed an average summertime decline of 1.7 °C (from 33.4 to 31.7 °C), and a one-degree increase in the winter (from 9.4 to 10.4 °C). On the other hand, in the observed areas, the Mean Radiant Temperature (MRT) showed a 7.8 °C decline in the summer and a 3.8 °C increase in the winter. The adopted technological solutions permitted a 4.6 °C reduction in summertime perceived temperature (from 36.8 to 32.2 °C) and a wintertime increase of 2 °C (from 5.4 to 7.4 °C). Natural ventilation during the summer increased by 0.5 m/s in all areas, while during the winter it is kept under better control in the exposed areas, declining by 1 m/s (in points A and B) and 0.5 m/s in the others. As regards the users' physical and mental well-being, the PMV (Predicted Mean Vote) declined on average by 1 point in the summer and 1.6 points in the winter; the percentage of 'unsatisfied' users (PPD) consequently fell on average from 85% to 62% in the summer and from 47% to 28% in the winter (Fig. 7).

Experimentation on the case of the Casal Monastero neighbourhood in Rome | Casal Monastero is a small neighbourhood on Rome's north-eastern periphery in the Municipio IV municipal district, outside the ring road (Grande Raccordo Anulare – GRA) and adjacent on the south to Via Tiburtina (Fig. 8). Its area covers 74 ha, or 2% of

the entire Municipio IV district. The neighbourhood was built in the late 1990s as a nucleus of homes built cooperatively and financed by the Region, in the area adjacent to Via di Sant'Alessandro. The buildings are therefore of recent construction (Fig. 9), with pilotis, and with curtain envelope for the façades, while the open spaces are characterized by slabs in concrete grit for the pedestrian paths, slabs of basalt for the sidewalks, and asphalt for the road beds (Fig. 10). Having been recently planned, the neighbourhood offers good liveability but not without a sense of abandonment and isolation due to the distance from the city centre and for the break represented by the ring road. The constructions present in the central backbone (Viale Ratto delle Sabine) do not exceed six stories in height, with the ground floor dedicated to services; the buildings are not constructed against one another, and for the most part the type is row villas with small yard.

There are various criticalities, including an inadequate level of public transportation (there are only two bus lines that pass infrequently, and the extension of Metro Line B has not been carried out); there is a dearth of spaces for social aggregation; shops are limited to those for essential goods; primary services leave much to be desired; the bike/pedestrian path to reach Torraccia as well as the ring road is merely an informal one. The urban district's energy consumption may currently be quantified as 20,910,933 Kwh/year with carbon emissions defined at 7,324,053 KgCO₂eq/year.

The Casal Monastero regeneration project (Fig. 11) is defined in accordance with the conception of a boulevard as a central axis for the neighbourhood, reorganizing mobility by introducing bike/pedestrian paths and introducing electric shuttle buses able to link the now highly isolated

neighbourhood to the nearby interchange hubs (MB1 Rebibbia stop, railway stop on the Roma-Sulmona-Pesca 'Tor Sapienza' Line). The valorization of open spaces calls for their requalification and for the introduction and/or enhancement of tree and shrub species native to the place, able to improve the elimination of the urban district's carbon emissions and increase permeable surfaces through a considerable reduction of the roads that are present. The buildings' energy requalification sees a strategic in increased production of energy from renewable sources, the energy improvement of the structures that are present and of the conditions of thermohygro-metric comfort using green and brown roofs. The recovery and management of grey water and stormwater are also planned, through the strengthening of the neighbourhood's purification plant for irrigation and reuse for the dwellings' hygienic services.

For the purposes of measuring the environmental parameters, 5 areas of the district being examined have been determined as a function of the urban planning scheme, along with 5 points at their barycentre, using procedures similar to those indicated for Vigne Nuove in terms of homogeneity (the points are marked with progressive capital letters): point A in the district's south, in the open, permeable space looking out on Viale Ratto delle Sabine; point B in the intersection between the central road axis (Viale Ratto delle Sabine) and Via Monteleone Sabino, which is affected by the neighbouring Parco del Sole park; point C within the courtyard spaces characterizing the portion of public residential building; point D in the point of intersection between the central road axis, Via Camilla Virginia Savelli, and the adjacent V. Savelli equipped park; point E in the open, impermeable space situated in the district's north, destined for car parking (Fig. 12).

PdZ Casal Monastero	Winter Ante Operam					Summer Ante Operam				
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
Detection points	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
Wind speed (m/s)	3	3	1.9	2.7	2.9	2.5	1.7	1.3	2.4	2.3
Temperature (°C)	10	10	9.7	10.2	9.6	30.1	30.6	29.8	30.6	31.2
Relative Umidity (%)	69	69	73	71	72	42.3	41.2	43.8	41.2	41.6
TMR (°C)	39.3	38.3	41.2	41.2	43.1	67.4	66.8	66.3	68	68.3
PMV	-1.8	-1.8	-1.9	-1.7	-2.4	4	4.1	4.1	3.9	3.8
PPD (%)	65	65	70	85	93	99.9	99.9	99.9	100	100
PET (°C)	13.4	13.4	15.6	14.8	6.6	40.5	42.8	42.8	43.3	43.8

PdZ Casal Monastero	Winter Post Operam					Summer Post Operam				
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
Detection points	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
Wind speed (m/s)	2.3	2.2	1.5	2.4	2	2.4	2.8	1.8	2.7	2.9
Temperature (°C)	10.9	10.7	10.1	11	10.3	29.3	29.8	29.3	29.6	29.5
Relative Umidity (%)	73.4	73.7	74.5	74.9	73.4	43.7	43.4	47.8	44.7	46.4
TMR (°C)	44.3	45.4	46.5	46.2	47.1	61.5	63.7	63.4	63.2	53.7
PMV	-1	-1.3	-1.4	-1.5	-1.7	2.8	2.9	3	2.7	2.6
PPD (%)	59	63.7	68.9	83.2	87.4	77.1	77.4	77.5	76.8	77
PET (°C)	14.3	14.4	16.3	15.3	6.9	39.4	41.8	42.1	42.2	44.3

Tabb. 3, 4 | Results of the ante and post operam winter and summer bioclimatic simulations of the Casal Monastero 'Piano di Zona', Rome (credits: the Authors, 2022).

The project of urban regeneration and tree planting with the function of screening and of improving microclimatic comfort enabled a 1 °C (from 30.5 to 29.5 °C) summertime decline in Air Temperature (AT) and a wintertime increase of 0.7 °C (from 9.9 to 10.6 °C). The Mean Radiant Temperature (TMR) fell from 67 to 61 °C in the summer and rose from 41 to 46 °C in the winter. The urban tree-planting practices, followed by a substantial increase of the permeable areas and enhancement of existing ones, allowed the summertime perceived temperature to decline by 1.1 °C in areas A and D, by 0.7 °C in area C, by 0.5 °C in area E, and by 0.4 °C in area B, while an average wintertime increase of 0.80 °C was recorded in every area of the analyzed district. A summertime increase in Natural Ventilation (WS) was also observed, by 1.1 m/s in point B, and from 0.1 to 0.6 m/s in the other areas, while increasing on average by 0.6 m/s in the winter. As regards the users' conditions of physical and mental well-being, the PMV declined on average by 1.2 in the summer and 0.5 in the winter; the percentage of users who were 'unsatisfied' (PPD) declined on average from 100 to 77% during the summer, and from 75 to 72% during the winter (Fig. 13).

Discussion of the results | For both case studies, Vigne Nuove and Casal Monastero, the experimentation highlighted the effectiveness of the proposed design solutions consisting of improving the microclimate conditions, improving the efficiency of the building envelopes through reliance

on passive technologies, and introducing energy-saving devices and LED public and private lighting systems (Figg. 14, 15) than can be summarized in a reduction in energy consumption of 70% (2,189,922 Kwh/year) for Vigne Nuove (Fig. 16) and 85% (2,121,119 Kwh/year) for Casale Monastero (Fig. 17), with carbon emissions declining respectively by 60% (2,121,119 KgCO₂eq) and by 72% (2,080,324 KgCO₂eq). This energy demand can be met entirely by integrated systems for the generation of energy from renewable sources, like photovoltaic, solar, and wind, mainly roof-mounted, as well as by recovering energy originating from the management of the biomass of outdoor spaces, from the organic fraction inherent to the district's waste cycle, and recovery of used vegetable oil.

Research conclusions and future outlooks |

This paper illustrates the results of applying multiscale and multicriteria predictive calculation models of a technological and environmental nature in architecture design, with the objective of offering responses to the challenges of adapting to and mitigating climate change, to be achieved through their replicability in other settings with similar characteristics. In this way, the aim is to give experimentation the characteristic of testing and verification in a constant evolution, in progress, of the methodological approach.

The elimination of greenhouse gases, in accordance with a scientific orientation established and confirmed by this research, requires a holistic approach able to reduce the use of fossil resources

and impacts on the environment to a minimum, the effectiveness of which is increased by careful assessment of the built system and knowledge of its behaviour in terms of performance. In this sense, reliance on simulation and modelling can support the definition of adequate responses in terms of energy and the environment. The models developed in this perspective are in fact to take on key importance in environmental planning, allowing qualitative and quantitative factors to be measured (Tabb. 1, 2). In this regard, emphasis is given to the innovative profile of the methodological approach developed as a framework of reference in support of the experimentation and design phase (through activities of input ex-ante modelling/simulation and ex-post output modelling/simulation) for the construction of design models with a multiscale approach and with a technological and environmental character. The aim is to guarantee improved environmental comfort in outdoor, in-between, and indoor spaces at the same time, with a view to adaptation to the impacts of climate change and to reducing the energy requirement, for the purposes of eliminating CO₂ emissions and therefore of mitigating the causes of climate change in the built environment (Tabb. 3, 4).

The global setting of the construction sector is being oriented towards energy and socio-economic transition based upon saving consumption, reducing emissions, and the complete circularity of resources, by focusing the programming of national and international policy in support of the regeneration of urban areas. The design sce-

narios proposed for the examined urban districts are emblematic of this new approach. Moreover, it is highlighted that environmental technological planning, also in the phase of experimentation on the two public housing neighbourhoods, is a key factor for enhancing the built environment, thus showing important technological solutions in the bioclimatic, energy, and thermal aspects and in solutions for controlling and optimizing the microclimate of open spaces.

Lastly, the construction of urban regeneration scenarios, supported by the results of the targeted fluid dynamic simulations, has made it possible to assess methodologies, procedures, and application tools able to properly guide the interventions along the strategic axes of technological innovation and climate adaptation. This methodology, defined in accordance with the concepts of comparability, innovativeness, and sustainability, therefore allows the issues of applicability and effectiveness of the proposed strategies in terms of repercussions on the economic and social fabric of the area subject to intervention to be investigated, with the final goal of offering solutions that are

comparable, replicable, and measurable in terms of performance and well-being.

As to the research's potential impacts, it is pointed out that the issue is of great scientific relevance in light of the European and national policies and strategies as illustrated in the NextGenerationEU Plan² and the Italian National Resilience and Recovery Plan (lit. Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza – PNRR; Repubblica Italiana, 2021). In this sense, the importance is observed of the positive impacts that may be achieved by defining a planning methodology replicable in the numerous urban districts that, on a national and European level, present similar features in the urban setting, and that will hopefully be involved in the urban regeneration processes that may be activated with the funds as per the aforementioned Plans.

In this perspective, the main research development opened by this paper relates to the progressive refinement of the models for quantifying the reduction of energy consumption by buildings, and of the related greenhouse emissions, achievable with strategies to mitigate the conditions of the urban microclimate in exterior and in-

between spaces. Lastly, an additional research perspective opened by this paper concerns the issue of the availability of data on incorporated and operational greenhouse emissions in the domestic construction sector, for the purpose of a greater reliability of input data with stronger representativity at the local level, in the performance verification and assessment models.

Notes

1) This paper is the product of research and experimentation carried out in continuity at 'Sapienza' University of Rome, Department of Planning, Design, Technology of Architecture: PRIN (Progetto di Rilevante Interesse Nazionale – lit. Project of Overriding National Interest) research 'Tech-Start – Key Enabling Technologies and Smart Environment in the Age of Green Economy – Convergent Innovations in the Open Space/Building System for Climate Mitigation' (2019-2022), with specific reference to the research work by the 'Sapienza' University of Rome operating unit, Principal Investigator Prof. F. Tucci. The working group is composed of the following: P. Altamura, V. Cecafozzo, G. Turchetti, and M. Giampaolletti; Collaborators: F. Nava, M. M. Pani, G. Romano, V. Tullelli, C. Dalsasso, L. Giannini, I. Fabiani, G. Trifoglio, S. Urbinati and M. Vadalà. The paper's images were conceived and developed by the article's authors with the important contributions of: C. Dalsasso for Figures 2, 3, 4, 5, 6, 7, 14 and 16; S. Urbinati with processing by V. Cecafozzo and M. Giampaolletti for Figures 9, 10, 11, 12, 13, 15 and 17.

2) For information on NextGenerationEU, consult: ec.europa.eu/info/strategy/recovery-plan-europe_en#next-generationeu [Accessed 27 September 2022].

References

Abdolhosseini Qomi, M. J., Noshadravan, A., Sobstyl, J. M., Toole, J., Ferreira, J., Pellenq, R. J.-M., Ulm, F.-J. and Gonzalez, M. C. (2016), "Data analytics for simplifying thermal efficiency planning in cities", in *Journal of the Royal Society Interface*, vol. 13, issue 2, pp. 1-10. [Online] Available at: doi.org/10.1098/rsif.2015.0971 [Accessed 27 September 2022].

Battisti, A. and Santucci, D. (eds) (2020), *Activating Public Space – An Approach for Climate Change Mitigation*, Technische Universität München Verlag, München.

Boeri, A., Battisti, A., Asdrubali, F. and Sala, M. (2017), "Approccio progettuale, efficienza energetica, bioclimatica e fonti rinnovabili negli edifici, nelle città, nei territori", in Antonini, E. and Tucci, F. (eds), *Architettura, città e territorio verso la Green Economy – La costruzione del manifesto della Green Economy per l'architettura e la città del fu-*

turo | Architecture, city and environment towards Green Economy – Building a manifesto of the Green Economy for the architecture and the city of the future, Edizioni Ambiente, Milano, pp. 238-253.

Carrada, G. and Frizza, C. (2021), *Transizione ecologica aperta – Dove va l'ambiente italiano?*, ISPRA, Roma. [Online] Available at: isprambiente.gov.it/files/2021/pubblicazioni/pubblicazioni-di-pregio/tea.pdf [Accessed 27 September 2022].

Erell, E., Pearlmutter, D. and Williamson, T. J. (2011), *Urban microclimate – Designing the spaces between buildings*, Earthscan, Washington.

IEA (2021), *Global Status Report for Buildings and Construction 2021 – Towards a zero-emission, efficient and resilient building and construction sector*. [Online] Available at: globalabc.org/resources/publications/2021-global-status-report-buildings-and-construction [Accessed 27 September 2022].

ISTAT (2021), *Annuario Statistico Italiano 2021*. [Online] Available at: istat.it/storage/ASI/2021/ASI_2021.pdf [Accessed 27 September 2022].

Kuittinen, M., Zernicke, C., Slabik, S. and Hafner, A. (2021), "How can carbon be stored in the built environment? A review of potential options", in *Architectural science review*, pp. 1-17. [Online] Available at: doi.org/10.1080/00038628.2021.1896471 [Accessed 27 September 2022].

Makropoulou, M. and Gospodini, A. (2016), "Urban Form and Microclimatic Conditions in Urban Open Spaces at the Densely Built Centre of a Greek City", in *Journal of Sustainable Development*, vol. 9, n. 1, pp. 132-149. [Online] Available at: doi.org/10.5539/jsd.v9n1p132 [Accessed 27 September 2022].

Maksimovic, M. (2018), "Greening the Future – Green Internet of Things (G-IoT) as a Key Technological Enabler of Sustainable Development", in *Internet of Things and Big Data Analytics Toward Next-Generation Intelligence*, vol. 30, pp. 283-313. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-319-60435-0_12 [Accessed 27 September 2022].

National Oceanic and Atmospheric Administration (2022), "Carbon dioxide now more than 50% higher than pre-industrial levels", in [noaa.org](https://www.noaa.gov), 03/06/2022. [Online] Available at: [noaa.gov/news-release/carbon-dioxide-now-more-than-50-higher-than-pre-industrial-levels](https://www.noaa.gov/news-release/carbon-dioxide-now-more-than-50-higher-than-pre-industrial-levels) [Accessed 27 September 2022].

Repubblica Italiana (2021), *Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza*. [Online] Available at: governo.it/sites/governo.it/files/PNRR.pdf [Accessed 27 September 2022].

Santamouris, M., Cartalis, C., Synnefa, A. and Kolokotsa, D. (2015), "On the impact of urban heat island and global warming on the power demand and electricity consumption of buildings – A review", in *Energy and Buildings*, vol. 98, pp. 119-124. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.09.052 [Accessed 27 September 2022].

Tucci, F. (2018), *Costruire e abitare green – Approcci, strategie, sperimentazioni per una progettazione tecnologica ambientale | Green Building and Dwelling – Approaches, strategies, experimentation for an environmental technological design*, Altralinea Edizioni, Firenze.

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

Paola De Joanna, Elisabetta Bronzino, Virginia Lusi

ABSTRACT

Le nuove istanze rispetto alla tutela ambientale e all'efficienza energetica dei Beni architettonici aprono nuove frontiere agli studi per lo sviluppo di tecnologie per il controllo del processo edilizio. Obiettivo dello studio qui presentato è individuare criteri e strumenti per il controllo dei fattori di resilienza e circolarità in edilizia quali moderatori dei processi di obsolescenza, in grado di stabilizzare il prodotto edilizio nella crescita ecosistemica. Il lavoro integra gli esiti di due ricerche dottorali in itinere che affrontano il tema del controllo della resilienza e circolarità in edilizia come strategia per la riduzione di impatto ambientale individuando metodologie specifiche per gli interventi sul patrimonio costruito e per il processo progettuale digitale di nuove costruzioni.

The new demands on environmental protection and the energy efficiency of architectural assets open new frontiers to studies for the development of technologies for the control of the building process. The study presented here aims to identify criteria and tools for the control of resilience and circularity factors in construction as moderators of obsolescence processes, capable of stabilizing the construction product in ecosystem growth. The work integrates the results of two ongoing doctoral types of research that address the issue of controlling resilience and circularity in construction as a strategy for reducing environmental impact by identifying specific methodologies for interventions on the built heritage and the digital design process of new buildings.

KEYWORDS

resilienza, design parametrico, ecosistemi, ambiente costruito, economia circolare

resilience, parametric design, ecosystems, built environment, circular economy

Paola De Joanna, Architect and PhD, is an Associate Professor of Architecture Technology at the Department of Architecture of the 'Federico II' University of Naples (Italy). She carries out research on the issues of environmental sustainability, and the protection and enhancement of heritage and territorial resources; she is the Scientific Manager of agreements with local and international bodies. Mob. +39 328/91.72.833 | E-mail: dejoanna@unina.it

Elisabetta Bronzino, Architect and PhD Candidate at the Department of Architecture of the 'Federico II' University of Naples (Italy), carries out research activities related to CIT-TAM (Interdepartmental Research Centre for the Study and Traditional Techniques of the Mediterranean Area). Mob. +39 333/461.52.19 | E-mail: elisabetta.bronzino@unina.it

Virginia Lusi, Architect and PhD Candidate at the Department of Civil, Construction-Architectural and Environmental Engineering of the University of L'Aquila (Italy). Her studies concern the sustainability of the built environment, with a focus on the evaluation of the circular economy and resilience for building recovery. Mob. + 39 345/60.50.900 | E-mail: virginia.lusi@graduate.univaq.it



Nello scenario contemporaneo di maturata consapevolezza sui rischi connessi alle emergenze ambientali, sanitarie e geopolitiche, la ricerca europea individua l'ambiente costruito come ambito preferenziale di sperimentazione per la transizione verso un habitat antropico più resiliente (CSIRO, 2007; Azzurro, 2016) e strategie di circolarità più efficaci attraverso un'economia low-carbon e l'uso efficiente delle risorse (Tucci et alii, 2020; Verda, 2015). In quest'ottica i modelli di sviluppo sostenibile necessitano di approcci integrati per raggiungere obiettivi strategici di resilienza e circolarità in grado di assicurare l'attivazione di efficaci circuiti di riuso e riciclo (Monsù Scolaro, 2017) e garantire adeguate capacità di adattamento 'ai mutamenti macroclimatici e agli impatti micro-ambientali' (UNEP, 2011). A livello edilizio, sebbene caratterizzate da un profilo transdisciplinare, resilienza e circolarità risultano ancora 'oggetti non propriamente progettabili' (Schipper and Langston, 2015), riscontrando uno scarso coordinamento tra documenti di indirizzo che pongono le due strategie in stretta relazione e strumenti attuativi, connotati da un carattere specialistico e frammentato.

In tale scenario l'approccio parametrico alla progettazione trova un ampio e proficuo margine di applicabilità consentendo la gestione di parametri per il controllo dell'impatto ambientale, prefigurando le indeterminanze e le possibili variazioni dell'ambiente durante il ciclo di vita dell'edificio e migliorando, di conseguenza, la capacità di conferire stabilità nel tempo ai parametri di sostenibilità. Si deve considerare che vi sono indicatori 'non energetici' che non vengono di solito presi in considerazione dai più diffusi metodi di valutazione e che, invece, possono significativamente incidere sulla resilienza del costruito quali, ad esempio, le relazioni col contesto e l'integrazione con l'economia territoriale. Ad oggi la prassi del settore edilizio è orientata a individuare soluzioni costruttive finalizzate al risparmio energetico trascurando l'adeguatezza al contesto delle scelte effettuate.

In quest'ottica, il contributo illustra due ricerche che condividono il comune obiettivo di individuare criteri e strumenti per il controllo dei fattori di resilienza e circolarità in edilizia come strategia per la mitigazione dell'impatto ambientale. Gli studi delineano approcci disciplinari distinti ed elaborano metodologie differenti finalizzando gli strumenti elaborati all'applicazione di una metodologia 'agile', nel primo studio e parametrica, nel secondo. Il lavoro è dunque strutturato secondo il criterio di definizione per ciascuna ricerca dei presupposti scientifici di riferimento; quindi sono illustrati gli aspetti metodologici e applicativi e infine gli sviluppi prevedibili e gli esiti.

Limiti e proiezioni della valutazione pre-intervento per la sostenibilità edilizia | Il primo studio che si presenta riassume gli esiti della ricerca condotta in ambito dottorale dal titolo 'Tra circolarità e resilienza, strumenti agili per la sostenibilità dell'ambiente costruito'¹. Adottando un approccio integrato al tema della sostenibilità nel settore edilizio si arriva alla definizione di parametri di valutazione dei paradigmi di resilienza e circolarità, proponendo la messa a punto di uno strumento 'agile' (Viscuso, 2020), in grado di analizzare e controllare il potenziale di tali criteri in fase di progett-

tazione preliminare al fine di indirizzare le scelte progettuali e gli esiti finali atti ad elevare la qualità ambientale del costruito esistente.

Gli studi che collegano operativamente l'economia circolare e la resilienza risultano ancora carenti, lasciando senza risposta alcune questioni critiche su come, ad esempio, il perseguire l'economia circolare possa influenzare la resilienza socio-ecologica e come i principi di resilienza possano essere integrati nelle pratiche circolari (Kennedy and Linnenluecke, 2022). Si evidenzia, di fatto, una scarsa correlazione tra la dimensione strategica, caratterizzata da una cospicua letteratura che declina la sostenibilità nei paradigmi di circolarità e resilienza – l'Agenda 2030 (UN, 2015), le proposte di Green Building Council Italia per un ambiente costruito sostenibile (GBC Italia, 2020), il rapporto tra resilienza ed economia circolare (Circle Economy, 2020), il Manifesto della Green Economy per l'architettura e l'urbanistica (SGCE, 2017), l'European Green Deal (Fetting, 2020), il Circular Economy Action Plan (European Commission, 2020) – e la dimensione operativa che mostra invece condizioni di complessità e disomogeneità negli strumenti di valutazione. Di fatto, i protocolli di certificazione ambientale (LEED, BREEAM, ITACA, DGNB) prediligono la misurazione degli aspetti energetici, di gestione efficiente delle risorse e di salubrità degli spazi abitati (Dall'Ò, 2016), mentre la valutazione della circolarità si riduce prevalentemente alla scala del prodotto (EDP, LCA, Ecolabel) e quella della resilienza, tuttora in fase di sperimentazione (Martin-Breen and Anderies, 2011; Suárez-Eiroa, Fernández and Méndez, 2021), viene applicata quasi esclusivamente a scala urbana (ARUP, 2013; CSIRO, 2007; Rockefeller Foundation, 2019).

Alla luce della rilevata 'mancanza di narrazione' (Rifkin, 2011) tra livello strategico e operativo, la prima ricerca si colloca in una dimensione intermedia, definita 'tattica' (Ciribini, 1978), configurandosi come una sorta di guida per l'azione. Si intende, pertanto, definire una metodologia di valutazione 'agile' che, partendo dall'individuazione di uno strumento di carattere conoscitivo, possa sviluppare una valutazione ex-ante in grado di trasformare il quadro informativo in un'indicazione decisionale. L'originalità della proposta è data dall'adozione di un approccio transcalare e interdisciplinare al tema della sostenibilità dell'ambiente costruito. La proposta di sviluppare uno strumento agile, inteso come quadro di valutazione predittivo del patrimonio costruito, consente di implementare i criteri di misurazione, non solo nella fase post-intervento (come i principali protocolli di certificazione ambientale) ma anche in quella preliminare.

Limiti e proiezioni del progetto parametrico per la sostenibilità edilizia | Il secondo studio, complementare alle finalità del presente contributo, è riferito alla ricerca dottorale dal titolo 'La valutazione della qualità ambientale nel progetto di fattibilità in campo BIM'². L'approccio Building Information Modeling, come supporto per l'archiviazione e la gestione ottimizzata di tutte le informazioni, può aiutare a gestire una grande quantità di informazioni e può essere opportunamente integrato con analisi LCA, LCC, EPD e SLCA (EU BIM Task Group, 2017), per supportare il concetto di sostenibilità non solo ambientale ma anche

economica e sociale; ne derivano notevoli vantaggi quali, ad esempio, un controllo più rapido e preciso degli aspetti sia prestazionali sia economici dei lavori eseguiti sin dalle fasi iniziali (Mondini, 2016; Acampa et alii, 2019).

In linea di principio, il progettista dovrebbe essere in grado di condurre il LCA utilizzando i BIM, tuttavia, i modelli di edificio non contengono tutti i componenti e gli elementi materiali che diventeranno parte dell'edificio³. I plug-in attualmente sviluppati per i software BIM sono in grado di supportare la progettazione in fase conclusiva, quando il progetto è ben delineato e oramai in stato avanzato nel percorso decisionale; qui gli spazi di modifica per variare e correggere il comportamento di una costruzione, così come valutati tramite metodologia LCA, si limitano soprattutto alla scelta di tecniche e materiali, ma non incidono, se non in modo marginale, sulle scelte formali e spaziali che tanto concorrono a elevare la qualità, soprattutto ambientale, di una costruzione.

Nell'ambito dello stato attuale degli studi orientati a implementare gli strumenti di progettazione parametrica per migliorare il controllo del progetto in rapporto all'impatto ambientale della costruzione, l'originalità del lavoro qui presentato vuole essere riferita allo studio per lo sviluppo di un protocollo che possa supportare la fase preliminare, di approccio al progetto di fattibilità, in grado di fornire un ausilio nelle prime scelte progettuali in Qualità Edilizia e Ambientale, quando cioè vengono adottate soluzioni formali e spaziali che poi influenzano notevolmente il comportamento della costruzione nella fase di utilizzo.

Aspetti metodologici per la valutazione pre-intervento | Nel primo studio condotto, la metodologia adottata per la definizione del quadro di valutazione pre-intervento ha dapprima seguito un 'approccio sinergico', rispondendo all'ipotesi di dimostrare l'integrabilità tra i paradigmi di circolarità e resilienza. Partendo dall'indagine sullo stato dell'arte dei principali strumenti di valutazione, si individuano due documenti di indirizzo che indagano i due paradigmi e ne definiscono gli indicatori per la valutazione: il Quadro Pilota Level(s), promosso dalla European Commission (2017), per la circolarità e il City Resilience Index (ARUP, 2013) e dalla Fondazione Rockefeller, per la resilienza. Posti a confronto i due documenti selezionati, si rileva una rete di relazioni esistenti tra i rispettivi indicatori (Fig. 1) i quali vengono riassunti secondo quattro ambiti di riferimento, a verifica di una prima possibile integrabilità tra i paradigmi di circolarità e resilienza: Comfort ed Energia, Materiali e Risorse, Gestione del Rischio, Governance e Pianificazione (Fig. 2).

Il primo ambito integra tutti gli aspetti relativi alla fornitura di energia elettrica e idrica, al comfort indoor ed outdoor dell'utenza; il secondo comprende l'analisi del ciclo di vita, le azioni di recupero, riuso e manutenzione; il terzo concerne la gestione delle vulnerabilità che insistono sul costruito, quali il rischio idrogeologico, sismico e incendio; l'ultimo ambito rappresenta invece un asse trasversale di gestione e pianificazione di tutti i processi che regolano l'ambiente costruito, da quelli economici a quelli sociali e quelli ambientali.⁴

Successivamente la ricerca ha adottato un 'approccio sistemico' per la definizione della matrice operativa che andrà a costituire il quadro di

RESILIENZA

City Resilience Index - ARUP & Rockefeller Foundation

CIRCOLARITÀ

Level(s) - Built Circular - EU

1.1.	Rendimento energetico in fase di utilizzo	4
1.2.	Potenziale di riscaldamento globale del ciclo di vita	3
2.1.	Conto di quantità, materiali e durata	5
2.2.	Rifiuti da costruzione e demolizione	9
2.3.	Progettazione per adattabilità e rigenerazione	9
2.4.	Progettazione per demolizione, riuso e riciclo	7
3.1.	Consumo di acqua in fase d'utilizzo	5
4.1.	Qualità dell'aria interna	2
4.2.	Tempo al di fuori del range di comfort termico	3
4.3.	Illuminazione e comfort visivo	4
4.4.	Comfort acustico e protezione dal rumore	5
5.1.	Protezione della salute degli utenti e comfort termico	7
5.2.	Incremento del rischio di fenomeni atmosferici estremi	10
5.3.	Incremento del rischio di alluvioni	5
6.1.	Costo del ciclo di vita	7
6.2.	Creazione del valore ed esposizione al rischio	6

Num. di riferimento
indicatore

Peso in termini
di numero di
relazioni

1.1.	Alloggio sicuro e accessibile	5
1.2.	Fornitura di energia adeguata	5
1.3.	Accesso inclusivo ad acqua potabile sicura	1
1.4.	Servizi igienico-sanitari efficaci	3
2.2.	Competenze e formazione pertinenti	3
2.3.	Sviluppo e innovazione dinamica del business locale	1
2.5.	Protezione dei mezzi di sussistenza a seguito di uno shock	3
3.4.	Servizi efficaci di risposta alle emergenze	3
4.3.	Forte identità e cultura	2
4.4.	Impegno attivo dei cittadini	1
6.3.	Risorse economiche eterogenee	6
6.5.	Forte integrazione tra economie locali e globali	3
7.1.	Mappatura completa dell'esposizione al rischio	6
7.2.	Codici, standard e controlli adeguati	6
7.3.	Ecosistemi protettivi gestiti efficacemente	2
7.4.	Infrastruttura di protezione robusta	3
8.1.	Gestione efficace degli ecosistemi	2
8.2.	Infrastruttura flessibile	1
8.3.	Capacità ridondante mantenuta	3
8.4.	Equilibrio tra domanda e offerta di risorse	3
8.5.	Manutenzione continua e accurata	2
8.6.	Adeguate continuità per beni e servizi essenziali	2
9.1.	Reti di trasporto eterogenee	2
9.2.	Operazioni di trasporto e manutenzione efficaci	3
9.4.	Sicurezza delle reti tecnologiche	2
10.3.	Collaborazione proattiva con più stakeholder	2
10.4.	Monitoraggio completo dei pericoli e valutazione dei rischi	2
10.5.	Gestione completa delle emergenze	2
11.2.	Diffusa consapevolezza e preparazione della comunità	3
12.1.	Monitoraggio completo della città e gestione dei dati	4
12.2.	Processo di pianificazione consultiva	2
12.3.	Usò del territorio e suddivisione in zone appropriate	2
12.4.	Robusto processo di approvazione della pianificazione	1

COMFORT ED ENERGIA

1.1.	Rendimento energetico in fase di utilizzo	4
3.1.	Consumo di acqua in fase d'utilizzo	5
4.1.	Qualità dell'aria interna	2
4.2.	Tempo al di fuori del range di comfort termico	3
4.3.	Illuminazione e comfort visivo	4
4.4.	Comfort acustico e protezione dal rumore	5
5.1.	Protezione della salute degli utenti e comfort termico	7
5.2.	Incremento del rischio di fenomeni atmosferici estremi	10
5.3.	Incremento del rischio di alluvioni	5
6.2.	Creazione del valore ed esposizione al rischio	6
1.1.	Alloggio sicuro e accessibile	5
1.2.	Fornitura di energia adeguata	5
1.3.	Accesso inclusivo ad acqua potabile sicura	1
1.4.	Servizi igienico-sanitari efficaci	3

MATERIALI E RISORSE

1.2.	Potenziale di riscaldamento globale del ciclo di vita	3
2.1.	Conto di quantità, materiali e durata	5
2.2.	Rifiuti da costruzione e demolizione	9
2.3.	Progettazione per adattabilità e rigenerazione	9
2.4.	Progettazione per demolizione, riuso e riciclo	7
6.1.	Costo del ciclo di vita	7
6.3.	Risorse economiche eterogenee	6
6.5.	Forte integrazione tra economie locali e globali	3
7.2.	Codici, standard e controlli adeguati	6
8.2.	Infrastruttura flessibile	1
8.5.	Manutenzione continua e accurata	2
8.6.	Adeguate continuità per beni e servizi essenziali	2
9.1.	Reti di trasporto eterogenee	2
9.2.	Operazioni di trasporto e manutenzione efficaci	3

GESTIONE DEL RISCHIO

5.1.	Protezione della salute degli utenti e comfort termico	7
5.2.	Incremento del rischio di fenomeni atmosferici estremi	10
5.3.	Incremento del rischio di alluvioni	5
6.2.	Creazione del valore ed esposizione al rischio	6
1.1.	Alloggio sicuro e accessibile	5
2.5.	Protezione dei mezzi di sussistenza a seguito di uno shock	3
3.4.	Servizi efficaci di risposta alle emergenze	3
7.1.	Mappatura completa dell'esposizione al rischio	6
7.3.	Ecosistemi protettivi gestiti efficacemente	2
7.4.	Infrastruttura di protezione robusta	3
8.3.	Capacità ridondante mantenuta	3
9.4.	Sicurezza delle reti tecnologiche	2
10.4.	Monitoraggio completo dei pericoli e valutazione dei rischi	2
10.5.	Gestione completa delle emergenze	2
11.2.	Diffusa consapevolezza e preparazione della comunità	3
12.1.	Monitoraggio completo della città e gestione dei dati	4

GOVERNANCE E PIANIFICAZIONE

2.2.	Rifiuti da costruzione e demolizione	9
2.3.	Progettazione per adattabilità e rigenerazione	9
2.4.	Progettazione per demolizione, riuso e riciclo	7
6.2.	Creazione del valore ed esposizione al rischio	6
2.2.	Competenze e formazione pertinenti	3
2.3.	Sviluppo e innovazione dinamica del business locale	1
4.3.	Forte identità e cultura	2
4.4.	Impegno attivo dei cittadini	1
6.3.	Risorse economiche eterogenee	6
6.5.	Forte integrazione tra economie locali e globali	3
8.1.	Gestione efficace degli ecosistemi	2
8.4.	Equilibrio tra domanda e offerta di risorse	3
10.3.	Collaborazione proattiva con più stakeholder	2
12.2.	Processo di pianificazione consultiva	2
12.3.	Usò del territorio e suddivisione in zone appropriate	2
12.4.	Robusto processo di approvazione della pianificazione	1

Fig. 1 | The diagram shows the relations between the indicators of circularity and resilience (credit: V. Lusi, 2022).

Fig. 2 | The figure shows four thematic areas in which circularity and resilience can be integrated (credit: V. Lusi, 2022).

	Settlement System	Building System	Technical-material System
Sustainability	ISO 37122:2019 Sustainable cities and communities Indicators for smart cities	ISO 21931-1 Framework for methods of assessment of the environmental performance of construction works	ISO 21930 Environmental declaration of building products
Circularity	ISO/CD 59020 Circular Economy Measuring and assessing circularity	ISO 20887:2020 Design for disassembly and adaptability	ISO 14040:2020 Life cycle assessment Principles and framework
Resilience	UNI ISO 37123:2019 Indicators for resilient cities	ISO/TR 22845:2020 Resilience of buildings and civil engineering works	ISO 22383:2020 Security and resilience Authenticity, integrity and trust for products

Tab. 1 | Standards and guidelines promoted by international standards; the matrix is divided into different scales of the built environment according to objectives of sustainability, circularity and resilience (credit: V. Lusi, 2022).

valutazione rispondendo così all'ipotesi di valutabilità di resilienza e circolarità a livello edilizio. Sono state quindi definite le gerarchie dello strumento agile: dagli ambiti di riferimento individuati nella fase precedente si declinano delle sottocategorie di sintesi che prendono il nome di fattori di riferimento corrispondenti all'articolazione tematica specifica di ciascun ambito, in modo che ogni categoria assunta possa essere analizzata e descritta nei suoi molteplici aspetti. Ciascuna sottocategoria viene poi riorganizzata in fattori di controllo che costituiscono i criteri di valutazione secondo normative e standard di riferimento (Tab. 1); infine, per ciascun fattore di controllo sono definiti i parametri che rappresentano gli elementi di misura dello strumento.

Si rintracciano così le metriche di valutazione di ciascun parametro di controllo all'interno del quadro normativo, garantendo la coerenza dei processi proposti rispetto alle linee guida di carattere regolatorio e un'effettiva operabilità tra i documenti di programmazione strategica e i riferimenti normativi. Il quadro normativo così strutturato permette di superare la condizione di estrema settorializzazione degli apparati regolamentari a favore di una visione complessiva in grado di 'rapportare costantemente la norma al contesto' (Gangemi, 1991). La diversa natura quali-quantitativa dei valori individuati ha richiesto poi l'adozione di tecniche di analisi multicriteria come metodo per riportare a omogeneità le valutazioni di ordine qualitativo e quantitativo relative ai parametri di controllo volti a ottenere i valori confrontabili e sommabili tra loro.

La ricerca segue, infine, un approccio agile nella configurazione del quadro di sintesi della valutazione. Lo strumento si configura come una matrice, inserita in software che generano fogli di calcolo, organizzata secondo differenti livelli di approfondimento, dal particolare al generale. Lo strumento consente infatti: una lettura specifica di ciascun parametro di controllo e del relativo punteggio; una lettura intermedia dei fattori di controllo e dei fattori di riferimento; una lettura d'insieme relativa agli ambiti di riferimento e al punteggio globale attribuibile all'oggetto della valutazione. La predisposizione dello strumento in un software di calcolo permette, una volta predisposte le formule, oltre che la definizione di tutti i punteggi medi e finali in automatico, anche la restituzione grafica dei valori in tabelle e grafici, op-

portunamente predisposti per garantire una visualizzazione agile dei risultati.

Aspetti metodologici per il controllo della resilienza nel progetto di fattibilità | Il secondo studio è orientato alla definizione di un modello digitale di edificio, funzionale a supportare le scelte in fase di fattibilità, attraverso la selezione di indicatori significativi e la definizione della misurabilità degli stessi. Lo scopo è, dunque, quello di perimetrare un ambito di progettazione pre-orientato verso un prodotto edilizio resiliente in grado di incrementare la sostenibilità della costruzione attraverso l'adattabilità nel tempo a diverse esigenze insediative e quindi prolungarne il ciclo di vita utile.

Nella fase del progetto di fattibilità vengono infatti stabilite soluzioni formali e spaziali, vengono definite le principali caratteristiche dimensionali degli ambienti e degli elementi tecnici che li conformano, la forma e l'esposizione della costruzione, la posizione e la dimensione delle aperture, tutti fattori che contribuiscono in modo sostanziale a determinare l'ambiente fisico degli interni e quindi la necessità o meno di intervenire con strategie progettuali correttive che influenzano notevolmente il comportamento della costruzione nella fase di utilizzo e limitano lo spazio delle trasformazioni che potrebbero rendersi necessarie in seguito.

Lo studio è mirato alla definizione dell'area dei possibili interventi intesa quale intersezione tra i requisiti di progetto e il sistema costruttivo per la garanzia della sostenibilità dell'edificio; tale intersezione vuole rappresentare l'effettivo spazio delle potenzialità di resilienza dell'oggetto edilizio. La metodologia proposta per orientare le scelte progettuali nella fase di studio di fattibilità verso soluzioni resilienti si fonda sul confronto tra diversi modelli insediativi per localizzare le componenti costanti in termini di relazioni tra configurazione dello spazio e attività svolte e le componenti variabili che diversificano e specializzano le forme di abitazione.

La Fase 1 prevede la definizione dei 'modelli occupativi campione' con differenti destinazioni d'uso o differenti modalità abitative in rapporto a: composizione dei nuclei familiari, stabilità o temporaneità nell'abitazione e stabilità nella destinazione d'uso dell'immobile. Nello studio qui presentato ci si riferisce i modelli per 'abitazione' e per 'abitazione e lavoro'. Per ogni modello inse-

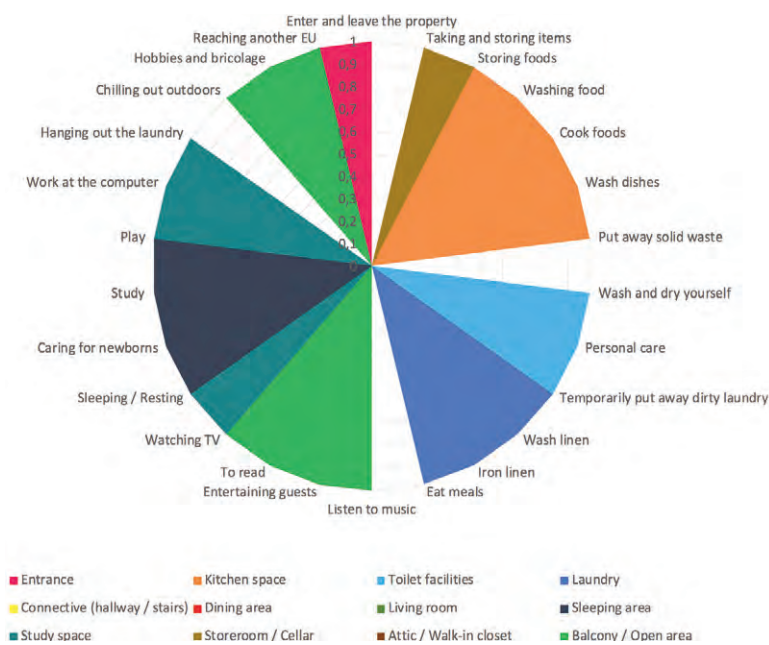
diativo individuato viene svolta l'analisi delle Azioni Elementari e dei raggruppamenti in Unità Ambientali, in considerazione anche delle indicazioni implicitamente contenute nella legislazione vigente e, in particolare modo, nei Decreti relativi all'edilizia residenziale (Zaffagnini, 1994).

La Fase 2 sulla resilienza dell'organismo edilizio è descritta attraverso la struttura di tre matrici. La Matrice delle Unità Ambientali è uno strumento elaborato mettendo in relazione le unità ambientali con le attività dell'abitare. Dalla matrice delle attività possono essere estratti grafici della distribuzione e ricorrenza delle azioni dell'abitare in rapporto alle unità del sistema ambientale (Tabb. 2, 3). Questa schematizzazione rispecchia abitudini e usi legati al contesto culturale e sociale ed è suscettibile di molte trasformazioni, basti pensare all'uso dello spazio esterno che cambia al variare della regione geografica e del contesto climatico, così come raggruppamenti diversi potrebbero risultare in rapporto alla condizione sociale ed economica, o ancora in rapporto a destinazioni d'uso eterogenee che coniugano l'abitare con attività lavorative. Si potrebbe dunque utilizzare il solo raggruppamento per dare luogo a modelli funzionali diversi.

La Matrice dei Requisiti (Tab. 4), che rappresenta il legame tra il comfort ambientale per le attività residenziali (termoigrometrico, visivo e acustico) e il sistema tecnologico, descrive la corrispondenza tra i requisiti tecnologici del progetto e il sistema costruttivo. La ricorrenza di più connessioni tra alcuni requisiti e alcune componenti dell'edificio esplicita i legami più forti all'interno dei quali devono potersi sviluppare ipotetici differenti layout di progetto. Infine la Matrice delle Attività (Tab. 5), che rappresenta il legame tra attività elementari e il sistema tecnologico, descrive le connessioni tra caratteristiche costruttive e svolgimento delle attività individuando così eventuali punti di attrito o scollamento che potrebbero verificarsi in scenari di progetto alternativi.

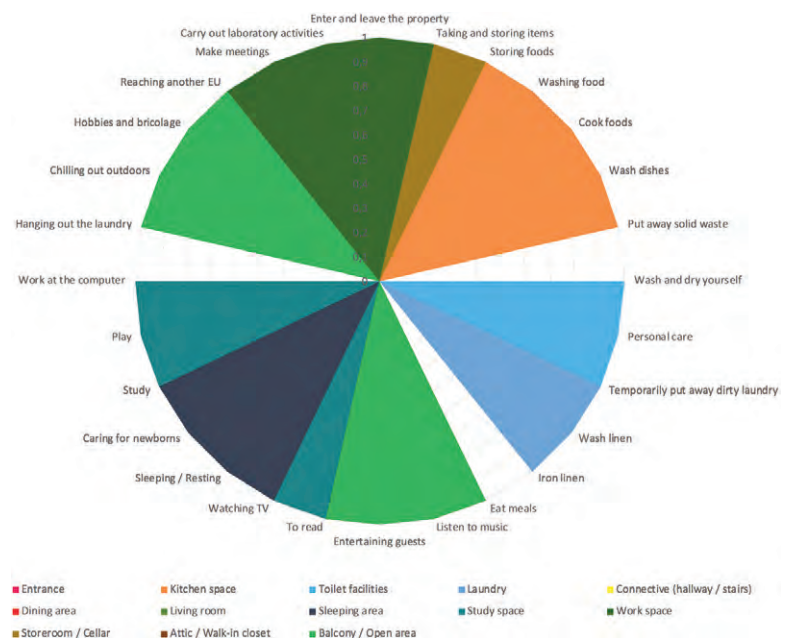
I grafici delle Tabelle 4 e 5 sono sviluppati per il modello residenziale e il modello ibrido abitazione/lavoro; la sovrapposizione dei grafici prodotti dalle matrici di ciascun modello evidenzia lo scostamento e quindi l'ambito degli adattamenti che incrementano l'impatto ambientale della costruzione in caso di passaggio da un modello all'altro. Iterando il processo per più destinazioni d'uso,

	Entrance	Kitchen space	Toilet facilities	Laundry	Connective (hallway / stairs)	Dining area	Living room	Sleeping area	Study space	Storeroom / Cellar	Attic / Walk-in closet	Balcony / Open area
Enter and leave the property	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Taking and storing items	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Storing foods	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Washing food	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cook foods	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Wash dishes	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Put away solid waste	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Wash and dry yourself	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Personal care	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Temporarily put away dirty laundry	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0
Wash linen	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Iron linen	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1
Eat meals	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Listen to music	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
Entertaining guests	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1
To read	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1
Watching TV	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1
Sleeping / Resting	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
Caring for newborns	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Study	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0
Play	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
Work at the computer	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1
Hanging out the laundry	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
Chilling out outdoors	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Hobbies and bricolage	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1
Reaching another EU	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1



Tab. 2 | Matrix of environmental units for the dwelling model, shows the relationships between environmental units and living activities. Graph of the Ratio of Elementary Actions and Environmental Units (credit: P. De Joanna, 2022).

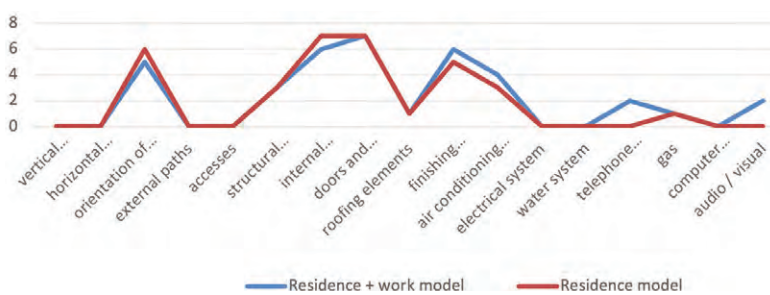
	Entrance	Kitchen space	Toilet facilities	Laundry	Connective (hallway / stairs)	Dining area	Living room	Sleeping area	Study space	Work space	Storeroom / Cellar	Attic / Walk-in closet	Balcony / Open area
Enter and leave the property	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Taking and storing items	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Storing foods	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Washing food	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cook foods	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Wash dishes	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Put away solid waste	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
Wash and dry yourself	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Personal care	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Temporarily put away dirty laundry	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Wash linen	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Iron linen	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Eat meals	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
Listen to music	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1
Entertaining guests	0	1	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1
To read	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1
Watching TV	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
Sleeping / Resting	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
Caring for newborns	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Study	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
Play	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1
Work at the computer	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
Hanging out the laundry	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Chilling out outdoors	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Hobbies and bricolage	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1
Reaching another EU	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Make meetings	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Carry out laboratory activities	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0



Tab. 3 | Matrix of environmental units for the dwelling/work model, shows the relationships between environmental units and living activities and a graph of the Ratio of Elementary Actions and Environmental Units (credit: P. De Joanna, 2022).

WELL-BEING Requirement Class			connection system					building system					installations					
			vertical connections	horizontal connections	orientation of the spaces	external paths	accesses	structural elements (vertical / horizontal / inclined)	internal partitions (vertical / horizontal)	doors and windows	roofing elements	finishing elements	air conditioning (cold/ hot)	electrical system	water system	telephone system	gas	computer networks
Thermohygro-metric comfort	Internal air temperature control	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Relative humidity control	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
	Ventilation	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Air quality	Control of the emission of harmful substances	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0
	Natural lighting control	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Visual comfort	Darkening	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	Sound pressure control	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1
Acoustic comfort	Sound reverberation control	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1

	vertical connections	horizontal connections	orientation of the spaces	external paths	accesses	structural elements (vertical / horizontal / inclined)	internal partitions (vertical / horizontal)	doors and windows	roofing elements	finishing elements	air conditioning (cold / hot)	electrical system	water system	telephone system	gas	computer networks	audio / visual
Residence + work model	0	0	5	0	0	3	6	7	1	6	4	0	0	2	1	0	2
Residence model	0	0	6	0	0	3	7	7	1	5	3	0	0	0	1	0	0



Tab. 4 | Requirements matrix shows the link between environmental comfort for residential activities and the technological system and a graph of the connections between comfort requirements and construction systems in residential and hybrid home/work models (credit: P. De Joanna, 2022).

possono essere prodotti grafici diversi che pongano in evidenza in che misura i diversi scenari progettuali incidono sull'edificio rispetto alle esigenze di adattamento della struttura esistente a nuovi usi o attività.

La costruzione di questi modelli attraverso un plug-in consente di sovrapporre ad esso ipotetici modelli diversi (perché relativi a diversi usi come residenza integrata con lavoro, attività di ufficio, attività commerciali, formazione, esposizione, eventi, o perché appartenenti a contesti diversi come clima, spazio urbano, presenza di servizi, etc.) e tracciare così il 'nucleo' di resilienza, cioè lo spazio delle relazioni comune a più modelli che consente il passaggio a destinazioni d'uso diverse nel tempo limitando al massimo gli adattamenti e quindi il minor consumo di energia e allungamento dell'ammortamento dell'impatto energetico della costruzione. Si individua, così, il sistema di relazioni che maggiormente accomuna diversi modelli, una sorta di minimo comune multiplo che rappresenta la versatilità dell'organismo; quanto più è ampio il sistema resiliente tanto più è facile passare da un modello a un altro: l'esito di questo confronto conduce alla individuazione delle aree stabili e delle aree più soggette a variazioni attraverso i differenti modelli presi in esame.

Risultati e sviluppi futuri | Gli esiti del primo studio hanno riguardato la sperimentazione dello strumento agile su un caso studio individuato nel Progetto C.A.S.E., complessi residenziali realizzati nelle aree aquilane interessate dal sisma del 2009 (Turino, 2010). La verifica è stata svolta rispetto a tre tipologie edilizie: una struttura telaio in acciaio, una struttura platform frame in legno e una struttura a telaio in calcestruzzo prefabbricato (Tab. 6); i risultati della verifica sono stati riportati graficamente in diagrammi radar (Fig. 3). Il confronto ha fatto emergere alcuni parametri costanti alla soluzione costruttiva e/o al sito di costruzione. Vale a dire che, nell'ottica di una valutazione speditiva, essere a conoscenza di quali parametri di controllo restano invariati, a fronte di stesse tipologie costruttive o stessi luoghi, può aumentare notevolmente l'agilità nella compilazione dello strumento.

Gli sviluppi futuri della ricerca potranno riguardare, in primo luogo, un'implementazione del palinsesto informativo sul costruito esistente attraverso l'integrazione tra banche dati dello strumento agile e dimensione parametrica BIM. In secondo luogo si potrà prevedere l'estensione della definizione dei parametri di valutazione integrata dalla scala edilizia a quella insediativa e tecnico-materiale, al fine di aumentare l'inter-scalarità dello strumento agile.

Il secondo studio perviene a uno strumento che consente di tracciare il perimetro del 'limite di adattabilità' di uno spazio costruito ad altri usi; in un'ipotesi di parametrizzazione acquista efficacia la possibilità di attribuire indici di adattabilità che connotino un progetto rispetto a un altro; in pratica si può pensare di generare un modello parametrizzato che controlli la percentuale di scostamento di diversi scenari rispetto al range di adattabilità ed esprimere un giudizio di sostenibilità rispetto alla maggiore o minore resilienza di un organismo edilizio. La flessibilità del modello garantisce maggiore resilienza e quindi ottimizza l'impatto ambientale in termini di ammortamento

del consumo di risorse; integrando il modello parametrizzato con i plug-in che valutano l'impatto ambientale delle risorse impiegate per la realizzazione, il valore di adattabilità stimato diventa un moltiplicatore dei valori di impatto ambientale stimati dal software.

Conclusioni | Gli studi citati presentano un nuovo approccio alla progettazione parametrica in termini di controllo dell'impatto ambientale del progetto orientato a definire criteri e parametri di verifica già in fase di studio di fattibilità. Lo strumento agile descritto dal primo studio propone un approccio valutativo su larga scala, fungendo da elemento conoscitivo di un vasto patrimonio costruito. Di fatto la possibilità di ottenere una valutazione speditiva consente agli attori chiave del processo decisionale di effettuare analisi sul potenziale di sostenibilità del patrimonio esistente, con un ridotto impiego di risorse in termini di tempi e costi, e di avere a disposizione una mappatura del costruito esistente implementando così banche dati e quadri informativi utili a futuri interventi.

La metodologia, sviluppata nel secondo studio, è in grado di anticipare la fase di analisi del comportamento energetico della costruzione rispetto alla prassi corrente rivolta a sviluppare l'impronta ambientale dei manufatti solo a valle di scelte progettuali definitive o comunque di difficile e onerosa revisione. Introdurre parametri di controllo di impatto ambientale ex-ante rispetto alla fase di fattibilità della progettazione, può costituire un'importante acquisizione scientifica e metodologica in grado di pre-orientare scelte progettuali conformemente al contesto ambientale ed ecosistemico. Le ricadute di un modello progettuale implementato in fase di studio di fattibilità si individuano nell'incremento degli standard internazionali di qualità.

In definitiva le due ricerche presentate, partendo da premesse comuni ma adottando approcci che differiscono nella metodologia, giungono al risultato di definire criteri e parametri di sostenibilità capaci di superare la tradizionale ed esclusiva attenzione all'efficientamento energetico, integrando anche aspetti economici e sociali per il miglioramento della qualità abitativa e ambientale.

In the contemporary scenario of increased awareness about the risks associated with environmental, health and geopolitical emergencies, European research identifies the built environment as a preferential testing ground for the transition to a more resilient anthropogenic habitat (CSIRO, 2007; Azzurro, 2016) and more effective circularity strategies through a low-carbon economy and efficient use of resources (Tucci et alii, 2020; Verda, 2015). In this perspective, sustainable development models need integrated approaches to achieve strategic goals of resilience and circularity that may ensure the activation of effective reuse and recycling circuits (Monsù Scolaro, 2017) and provide adequate adaptation to 'macro-climate change and micro-environmental impacts' (UNEP, 2011). At the building level, resilience and circularity are still 'objects not properly designed' (Schipper and Langston, 2015), although characterized by a transdisciplinary profile. Consequent-

ly, is to be found poor coordination between documents of address: even if these two strategies are closely linked, their implementation instruments are characterized by a specialized and fragmented nature.

In this scenario, the parametric approach to design finds a wide and profitable margin of applicability allowing the management of parameters for the control of the environmental impact, prefiguring the uncertainties and possible variations of the environment during the life cycle of the building and improving, consequently, the ability to confer stability over time of the sustainability parameters. It must be considered that there are 'non-energetic' indicators that are not usually taken into consideration by the most widespread evaluation methods and that, on the other hand, can significantly affect the resilience of the building, such as, for example, the relationships with the context and integration with the territorial economy. To date, the practice of the building sector is engaged in identifying construction solutions aimed at saving energy, neglecting the adequacy of the choices made to the context.

The contribution illustrates two studies that share the common goal of identifying criteria and tools for controlling resilience and circularity factors in construction as a strategy for mitigating environmental impact. The studies outline distinct disciplinary approaches and elaborate different methodologies, finalizing the developed tools to the application of an 'agile' methodology, in the first study, and parametric, in the second one. Therefore, the work is structured according to the criterion definition, for each research, of the reference scientific assumptions; then, the methodological and applicative aspects are developed and the foreseeable developments and outcomes are illustrated.

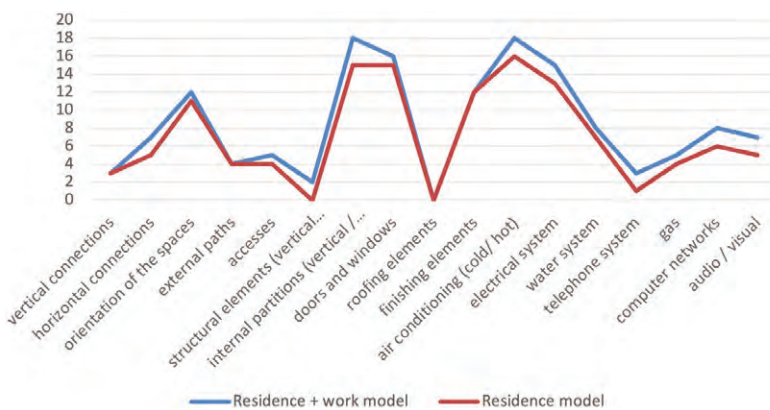
Limits and projections of the pre-intervention assessment for building sustainability

The first study summarizes the results of the doctoral research entitled 'Between circularity and resilience, agile tools for the sustainability of the built environment'¹. Adopting an integrated approach to sustainability issue in the building sector, the study aims to define parameters for evaluating resilience and circularity paradigms, by proposing the development of an 'agile' tool (Viscuso, 2020), able to analyse and control the potential of these parameters in the pre-intervention phase, in order to guide the design choices and the final results and thus raising the environmental quality of the existing building.

To date, studies bridging the circular economy and resilience are sparse, leaving critical questions unanswered, including how pursuing a circular economy may influence social-ecological resilience and how principles of resilience may be integrated into circular business practices (Kennedy and Linnenluecke, 2022). Indeed, there is a poor correlation between the strategic dimension, characterized by a large literature declining sustainability in the paradigms of circularity and resilience – Agenda 2030 (UN, 2015), the proposals of Green Building Council Italy for a sustainable built environment (GBC Italy, 2020), the relationship between resilience and circular economy (Circle Economy, 2020), the Green Economy Manifesto for architecture and urbanism (SGCE,

	connection system					building system					installations						
	vertical connections	horizontal connections	orientation of the spaces	external paths	accesses	structural elements (vertical / horizontal / inclined)	internal partitions (vertical / horizontal)	doors and windows	roofing elements	finishing elements	air conditioning (cold/ hot)	electrical system	water system	telephone system	gas	computer networks	audio / visual
Enter and leave the property	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Taking and storing items	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Storing foods	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
Washing food	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
Cook foods	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0
Wash dishes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0
Put away solid waste	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Wash and dry yourself	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	0
Personal care	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0
Temporarily put away dirty laundry	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
Wash linen	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0
Iron linen	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0
Eat meals	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Listen to music	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Entertaining guests	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1
To read	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Watching TV	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0
Sleeping / Resting	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1
Caring for newborns	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
Study	0	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0
Play	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1
Work at the computer	0	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1
Hanging out the laundry	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1
Chilling out outdoors	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hobbies and bricolage	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0
Reaching another EU	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Make meetings	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1
Carry out laboratory activities	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1

	vertical connections	horizontal connections	orientation of the spaces	external paths	accesses	structural elements (vertical / horizontal / inclined)	internal partitions (vertical / horizontal)	doors and windows	roofing elements	finishing elements	air conditioning (cold/ hot)	electrical system	water system	telephone system	gas	computer networks	audio / visual
Residence + work model	3	7	12	4	5	2	18	16	0	12	18	15	8	3	5	8	7
Residence model	3	5	11	4	4	0	15	15	0	12	16	13	7	1	4	6	5



Previous page and current page

Tab. 5 | Activities Matrix shows the link between elementary activities and the technological system and a graph of the connections between elementary actions and construction systems in residential and hybrid home/work models (credit: P. De Joanna, 2022).

2017), the European Green Deal (Fetting, 2020), the Circular Economy Action Plan (European Commission, 2020) – and the operational dimension, which shows conditions of complexity and inhomogeneity in the assessment tools. Actually, environmental certifications (LEED, BREEAM, ITACA, DGNB) provide a framework to assess energy aspects, efficient management of resources and healthiness of living spaces (Dall’Ò, 2016), while the assessment of circularity is limited to product dimension (EDP, LCA, Ecolabel) and the concept of resilience, still developing (Martin-Breen and Anderies, 2011; Suárez-Eiroa, Fernández and Méndez, 2021), is applied almost on the urban scale (ARUP, 2013; CSIRO, 2007; Rockefeller Foundation, 2019).

In light of the ‘lack of narration’ (Rifkin, 2011) found between the strategic and the operational level, the research is placed in an intermediate dimension, defined as ‘tactics’ (Ciribini, 1978), becoming like a guide for action. Therefore, the proposal is to define an ‘agile’ assessment methodology that, starting from the identification of a cognitive tool, can develop a pre-intervention evaluation that may transform the information framework into a decision indication. The originality of the research is given by the adoption of an inter-scalar and interdisciplinary approach to the issue of the sustainability of the built environment. The proposal of the agile tool, as a framework for the assessment of building construction, allows the implementation of measurement parameters, not only in the post-intervention phase (as the main environmental certifications) but also in the preliminary one.

Limits and projections of the parametric project for building sustainability

The second study, complementary to the purposes of this contribution, refers to the doctoral research entitled ‘Environmental quality assessment in the feasibility project in the BIM field’². The Building Information Modelling approach, as a support for the storage and optimized management of all information, can help in managing a large amount of information and can be suitably integrated with LCA, LCC, EPD and SLCA (EU BIM Task Group, 2017), to support the concept of not only environmental but also economic and social sustainability; considerable advantages derive from this, such as, for example, a quicker and more precise control of both the performance and economic aspects of the works carried out from the initial stages (Mondini, 2016; Acampa et alii, 2019).

In principle, the designer should be able to conduct the LCA using BIM, however, the building models do not contain all the components and material elements that will become part of the building³. The plug-ins currently developed for BIM software can support the design in the final phase when the project is well defined and now in an advanced state in the decision-making process; here the spaces for modification to vary and correct the behaviour of a building, as assessed through the LCA methodology, are mainly limited to the choice of techniques and materials but do not affect, if not marginally, the formal and spatial choices that so much contribute to raising the quality, especially that environmental, of a building.

As part of the current state of studies aimed at implementing parametric design tools to im-

prove the control of the project in relation to the environmental impact of the construction, the originality of the work presented here is referred to the study for the development of a protocol that can support the preliminary phase, of approaching the feasibility project, able to provide aid in the first design choices in Building and Environmental Quality, i.e. when formal and spatial solutions are adopted which, then, significantly influence the behaviour of the construction in the use phase.

Methodological aspects for pre-intervention assessment for building sustainability

The first study adopts a ‘synergistic approach’ for the definition of the pre-intervention assessment framework responding to the hypothesis of integrability between circularity and resilience paradigms. Starting from a state-of-the-art survey about the most known assessment tools, two guidance documents are selected to compare their indicators: circularity is represented by the Level(s) Pilot Framework, promoted by the European Commission (2017), while resilience is identified with the City Resilience Index (ARUP, 2013) promoted by the Rockefeller Foundation. Comparing the two selected documents, it creates a network of relationships between the respective indicators (Fig. 1). Thus, according to this network, indicators are summarized in four reference areas: Comfort and Energy, Materials and Resources, Risk Management, Governance and Planning (Fig. 2); representing fields of integration between the paradigms of circularity and resilience.

The first area covers all aspects related to the supply of electricity and water, indoor and outdoor

Reference Area	Reference Factor	Reference Factor			Control Factor	Weight	Control Factor			Control Parameter	Control Parameter		
		Steel	Wood	Concrete			Steel	Wood	Concrete		Steel	Wood	Concrete
Comfort and Energy	Energy efficiency	8.22	8.22	8.67	Energy Consumption	4	6.0	6.0	7.0	1. Energy efficiency class	6	6	7
					Energy Supply	5	10.0	10.0	10.0	2. Energy from renewable sources	10	10	10
	Water efficiency	8.75	8.75	8.75	Water Consumption	5	8.0	8.0	8.0	3. Water saving devices	8	8	8
					Water Supply	3	10.0	10.0	10.0	4. Rainwater collection	10	10	10
	Internal comfort	7.96	7.00	8.04	Thermal Comfort	3	7.8	6.7	8.2	5. Predicted Mean Vote	7.6	5.33	8.33
										6. Thermal Insulation	8	8	8
										7. Noise class	8	6	8
										8. Passive lighting	8	8	8
										9. Passive ventilation	8	8	8
										10. Air Quality Index	8	8	8
Materials and Resources	Life Cycle Analysis	6.29	7.17	6.99	Life Cycle Assessment	3	7.0	9.3	7.0	11. Embodied Energy	8	8	7.8
										12. Global Warming Potential	5.9	7.7	6.1
										13. Cost in use phase	6	7	7
										14. Present value	6	5.5	7
	Remanufacturing	8.50	8.00	5.50	C&D waste	9	10.0	10.0	7.5	15. Selective demolition	10	10	5
										16. Dangerous material	10	10	10
	Adaptability and Maintainability	7.30	4.82	6.00	Recycle and Reuse	9	7.0	6.0	3.5	17. Recyclable/recycled components	7	7	4
										18. Reusable/reused components	7	5	3
										19. Versatility	8	4	7
										20. Convertibility	6	4	6
									21. Expandability	7	5	7	
									Maintenability	2	8.7	7.0	3.0
Risk Management	Hydrogeological Risk	9.62	9.62	9.25	Hydraulic Hazard	6	9.0	9.0	8.0	25. Expected water height	10	10	8
										26. Presence of protective devices	8	8	8
										27. PAI Risk Class	10	10	10
										28. PSDA Risk Class	-	-	-
	Seismic Risk	6.00	6.00	6.50	Seismic Vulnerability	6	10.0	10.0	10.0	29. Seismic Risk Class	10	10	10
										30. Peak Ground Acceleration	2	2	3
	Fire Risk	6.25	6.75	8.25	Fire Classification	5	7.5	8.5	8.5	31. REI classification	7	9	9
										32. Emergency devices	8	8	8
										33. Pyrological risk class	5	5	8

comfort of the user; the second one includes life cycle assessment, recovery, reuse and maintenance; the third concerns the management of vulnerabilities that may affect building scale, such as hydrogeological, seismic and fire risk; the last area represents a transversal axis of management and planning of all processes that regulate the built environment, economic, social and environmental.⁴

Subsequently, the research adopted a 'systemic approach' for the definition of the operational matrix that will constitute the assessment framework, thus responding to the hypothesis of measurability of resilience and circularity at the building level. The hierarchies of the agile tool have been defined: the reference areas, identified in the previous phase, contain sub-categories named 'reference factors' corresponding to the specific thematic articulation of each area so that each category can be analysed and described in its multiple aspects. Each subcategory is then organized into 'control factors' that constitute the assessment criteria according to regulations and reference standards (Tab. 1); for each control factor, there are defined 'control parameters' representing the measuring elements of the tool.

The evaluation metrics of each control parameter are thus defined within the regulatory framework, ensuring consistency of the proposed processes between regulatory guidelines and strategic programming documents. The framework so structured makes it possible to overcome the condition of extreme sectorialisation of the regulatory apparatus in favour of an overall vision able to 'constantly relate the norm to the context' (Gangemi, 1991). The different nature of the quantitative and qualitative evaluation of the identified values required the adoption of multicriteria analysis techniques as a method to normalize the qualitative and quantitative assessments to obtain comparable and summable values.

Finally, the research follows an 'agile approach' in the configuration of the definitive framework. The tool is configured as a matrix entered into a software that generates spreadsheets and is organized according to different levels of depth, from detail to general. Indeed, the tool allows: a specific reading of each control parameter and its score; an intermediate reading of control factors and reference factors; an overview of the areas of reference and the overall score attributable to the subject of the assessment. After preparing the calculation formulas in the software, the tool allows the graphical return of the average and final scores to ensure an agile display of the results.

Methodological aspects for the control of resilience in the feasibility project

The second study is aimed at defining a digital building model, functional to support the choices in the feasibility phase, through the selection of significant indicators and the definition of their measurability. The aim is, therefore, to define a pre-oriented design area towards a resilient building product capable of increasing the sustainability of the construction through its adaptability over time to different settlement's needs and thus prolonging its useful life cycle.

Tab. 6 | The table shows the results of the evaluation of three buildings of the C.A.S.E Project in L'Aquila (credit: V. Lusi, 2022).

At the feasibility project stage, formal and spatial solutions are established; the main dimensional characteristics of the environments and the technical elements that conform them, the shape and exposure of the building, and the position and size of the openings are defined; all these factors substantially contribute to determining the physical environment of the interiors and, therefore, the need or not to intervene with corrective design strategies that greatly influence the behaviour of the building in the use phase and limit the space for transformations that may be necessary later on.

The study is aimed at defining the area of possible interventions intended as the intersection between the project requirements and the construction system for ensuring the sustainability of the building; this intersection wants to represent the actual space of the resilience potential of the building object. The proposed methodology to guide design choices in the feasibility study phase towards resilient solutions is based on the comparison between different settlement models to locate the constant components in terms of relationships between the configuration of the space and the activities carried out and the variable components that diversify and specialize the housing forms of a building.

Phase 1 provides for the definition of 'sample occupancy models' with different uses or different housing methods in relation to: the composition of households, stability or temporariness in the home and stability in the intended use of the property. The study presented here refers to the models for 'home' and for 'home and work'. For each identified settlement model, the analysis of the Elementary Actions and groupings in Environmental Units is carried out, also taking into account the indications implicitly contained in current legislation and, in particular, the Decrees relating to residential construction (Zaffagnini, 1994).

Phase 2 on the resilience of the building organism is described through the structure of three matrices. The Matrix of Environmental Units is a tool developed by relating the environmental units with the activities of living. From the Matrix of Activities, graphs of the distribution and recurrence of housing actions can be extracted in relation to the units of the environmental system (Tabb. 2, 3). This schematization reflects habits and uses linked to the cultural and social context and is susceptible to many transformations, just think of the use of the external space that changes with the variation of the geographical region and the climatic context, as well as different groupings could result in relation to the social condition and economic, or even in relation to heterogeneous uses that combine living with work activities. Therefore, grouping alone could be used to give rise to different functional models.

The Requirements Matrix (Tab. 4), which represents the link between the environmental comfort for residential activities (thermohygrometric, visual and acoustic) and the technological system, describes the correspondence between the technological requirements of the project and the construction system. The recurrence of multiple connections between some requirements and some components of the building makes clear the strongest links within which hypothetical different project layouts must be able to develop. Finally, the Matrix of Activities (Tab. 5), which repre-

sents the link between elementary activities and the technological system, describes the connections between construction characteristics and performance of the activities, thus identifying any points of friction or disconnect that could occur in alternative project scenarios.

The graphs in Tables 4 and 5 are developed for the residential model and the hybrid home/work model, the superposition of the graphs produced by the matrices of each model highlights the deviation and therefore the scope of the adaptations that increase the environmental impact of the construction in case of transition from one model to another. By iterating the process for multiple uses, different graphics can be produced that highlight the extent to which the different design scenarios affect the building with respect to the adaptation needs of the existing structure to new uses or activities.

The construction of these models through a plug-in allows to superimpose hypothetical different models on it (because they relate to different uses such as residence integrated with work, office activities, commercial activities, training, exhibition, and events, or because they belong to different contexts such as climate, urban space, presence of services, etc.) and thus trace the core of resilience, i.e. the space of relations common to several models that allows the transition to different uses over time, limiting adaptations to the maximum, and therefore the lower energy consumption and longer amortization of the building's energy impact. Thus, the system of relationships that most unites different models is identified, a sort of least common multiple that represents the versatility of the organism; the larger the resilient system, the easier it is to switch from one model to another: the outcome of this comparison leads to the identification of stable areas and areas most subject to variations through the different models examined.

Results and further development | The results of the first study concerned the testing of the agile tool on a case study identified in the 'Progetto C.A.S.E.', residential complexes built in the areas of L'Aquila affected by the earthquake of 2009 (Turino, 2010). The tool has been applied to three building typologies: a steel frame building, a wooden frame system and a prefabricated structure in reinforced concrete (Tab. 6); the results of the testing have been graphically reported in diagrams radar (Fig. 3). The comparison revealed some constant parameters to the construction solution and/or the construction site. With a view to an expeditious evaluation, this result can greatly increase the agility in the compilation of the tool, being aware of which control parameters remain unchanged, compared to the same types of construction or the same places.

The future developments of the research will concern, firstly, an implementation of the information program on the existing built through the integration between databases and parametric BIM. Secondly, it will be possible to extend the definition of evaluation parameters integrated from the building scale to the settlement and technical material to increase the inter-scaling of the agile tool.

The second study arrives at a tool that allows you to trace the perimeter of the 'limit of adapt-



Fig. 3 | The radar graphs are configured as an agile visualization of the results that emerged from the evaluation: the three diagrams above show the single results of the three buildings, while the diagram below overlaps the three results (credit: V. Lusi, 2022).

ability' of a space built for other uses; in a parameterization hypothesis, the possibility of attributing adaptability indices that characterize one project over another becomes effective; in practice, one can think of generating a parameterized model that controls the percentage of deviation of different scenarios with respect to the range of adaptability and expressing a judgment of sustainability with respect to the greater or lesser resilience of a building organism. The flexibility of the model ensures greater resilience and therefore optimizes the environmental impact in terms of amortization of resource consumption; by integrating the parameterized model with plug-ins that evaluate the

environmental impact of the resources used for the construction, the estimated adaptability value becomes a multiplier of the environmental impact values estimated by the software.

Conclusions | The presented studies introduce a new approach to parametric design in terms of controlling the environmental impact of the project aimed at defining criteria and verification parameters already in the feasibility study phase. The agile tool described by the first study proposes a large-scale evaluation approach, acting as a cognitive element of a vast built heritage. In fact, the possibility of obtaining a rapid evaluation allows

the key players in the decision-making process to carry out analyses on the sustainability potential of the existing heritage, with reduced use of resources in terms of time and costs, and to have a mapping of the built structure available, thus implementing databases and information frameworks useful for future interventions.

The methodology developed in the second study is able to anticipate the phase of analysis of the energy behaviour of the building as opposed to the current practice which is aimed at developing the environmental footprint of the artefacts only downstream of definitive design choices or in any case of difficult and costly revision. Introduc-

ing ex-ante environmental impact control parameters with respect to the feasibility phase of the design can constitute an important scientific acquisition and methodology capable of pre-orienting design choices in accordance with the environmental and ecosystem context. The repercussions of a design model implemented in the fea-

sibility study phase are identified in the increase in the possibility of achieving international quality standards.

Ultimately, the two studies presented, starting from common premises but adopting approaches that differ in methodology, arrive at the result of defining sustainability criteria and parameters ca-

pable of overcoming the traditional and exclusive attention to energy efficiency, also integrating economic and social aspects for the improvement of housing and environmental quality.

Acknowledgements

The contribution is the result of a common reflection of the Authors; despite the introductory paragraph, ‘Results and further development’ and ‘Conclusions’ have to be attributed to all the authors, the paragraphs ‘Limits and projections of the pre-intervention assessment for building sustainability’ and ‘Methodological aspects for pre-intervention assessment for building sustainability’ to V. Lusi, the paragraphs ‘Limits and projections of the parametric project for building sustainability’ and ‘Methodological aspects for the control of resilience in the feasibility project’ to P. De Joanna and E. Bronzino.

Notes

1) The research is conducted by Virginia Lusi as part of the PhD in Civil Engineering, Construction-Architecture, Environmental, XXXV cycle, University of L’Aquila (Italy).

2) The research is conducted by Elisabetta Bronzino as part of the PhD in Architecture in Sustainable Technologies, Recovery and Representation of Architecture and the Environment, XXXV cycle, ‘Federico II’ University of Naples (Italy).

3) The processing in this phase involves a meticulous compilation by the designer, to be able to guarantee fidelity to the real model; the properties of the single material must be entered manually, defining all its parameters. The program tries to offer tools that can speed up the compilation of similar items.

4) In the following phases of the research, the field ‘Governance and Planning’ will be excluded from the evaluation as an aspect mainly concerning the design and planning phase; the agile tool proposed in this research is placed in the pre-intervention phase. Therefore, a predictive assessment in this area is considered impracticable.

References

Acampa, G., Ordonez Garcia, J., Grasso, M. and Diaz-Lopez, C. (2019), “Progettazione sostenibile – Criteri da integrare al BIM”, in *Valori e Valutazioni*, vol. 23, pp. 119-128. [Online] Available at: siev.org/wp-content/uploads/2020/02/23_14_-_ACAMPA-et-al.pdf [Accessed 22 September 2022].

ARUP (2013), *City Resilience Index – Understanding and Measuring City Resilience*, Rockefeller Foundation. [Online] Available at: arup.com/perspectives/publications/research/section/city-resilience-index [Accessed 22 September 2022].

Azzurro, P. (2016), “La prevenzione degli sprechi dopo la legge 166/2016”, in *Ecoscienza*, n. 5, pp. 10-13. [Online] Available at: academia.edu/29789678/Azzurro_P_2016_La_prevenzione_degli_sprechi_dopo_la_legge_166_2016_ECOSCIENZA_Numero_5_2016_pagg_10_13 [Accessed 22 September 2022].

Circle Economy (2020), *Resilience & the Circular Economy – Opportunities and risks*. [Online] Available at: assets.website-files.com/5d26d80e8836af2d12ed1269/5f55fe6a1294188a3073a730_20200907%20-%20CJI%20-%20resilience%20-%20297x210mm.pdf [Accessed 22 September 2022].

Ciribini, G. (1978), *Introduzione alla tecnologia del design – Metodi e strumenti logici per la progettazione del-*

l’ambiente costruito, FrancoAngeli, Milano.

CSIRO (2007), *Urban Resilience – Research Prospectus – A Resilience Alliance Initiative for Transitioning Urban Systems towards Sustainable Futures*, Resilience Alliance. [Online] Available at: vdocument.in/urban-resilience-research-prospectus.html?page=1 [Accessed 22 September 2022].

Dall’Ò, G. (ed.) (2016), *Leadership in Green Building – I progetti certificati LEED in Italia*, Edizioni Ambiente, Milano.

EU BIM Task Group (2017), *Handbook for the introduction of Building Information Modelling by the European Public Sector – Strategic action for construction sector performance – Driving value, innovation and growth*. [Online] Available at: eubim.eu/wp-content/uploads/2017/07/EU-BIM_Handbook_Web_Optimized-1.pdf [Accessed 22 September 2022].

European Commission, Directorate-General for Communication (2020), *Circular Economy Action Plan – For a cleaner and more competitive Europe*, Publications Office of the European Union. [Online] Available at: data.europa.eu/doi/10.2779/05068 [Accessed 10 October 2022].

European Commission (2017), *Level(s) – A guide to Europe’s new reporting framework for sustainable buildings*. [Online] Available at: ec.europa.eu/environment/eussd/pdf/Level_publication_EN.pdf [Accessed 22 September 2022].

Fetting, C. (2020), *The European Green Deal*, ESDN Report, December 2020, ESDN Office, Vienna. [Online] Available at: esdn.eu/fileadmin/ESDN_Reports/ESDN_Report_2_2020.pdf [Accessed 22 September 2022].

Gangemi, V. (ed.) (1991), *Norma e recupero – Strumenti per la qualificazione dei centri storici in Campania – Gli Aspetti Tecnologici*, Liguori Editore, Napoli.

GBC Italia – Green Building Council Italia (2020), *Un ambiente costruito sostenibile per l’Italia del futuro – Le proposte di GBC Italia*. [Online] Available at: gbcitalia.org/documents/20182/1400845/GBC+Italia_Advocacy+Manifesto_Website.pdf [Accessed 10 October 2022].

Kennedy, S. and Linnenluecke, M. K. (2022), “Circular economy and resilience – A research agenda”, in *Business Strategy and the Environment*, vol. 31, issue 6, pp. 2754-2765. [Online] Available at: doi.org/10.1002/bse.3004 [Accessed 10 October 2022].

Martin-Breen, P. and Anderies, J. M. (2011), *Resilience – A literature review*, Rockefeller Foundation, New York. [Online] Available at: opendocs.ids.ac.uk/opendocs/handle/20.500.12413/3692 [Accessed 10 October 2022].

Mondini, G. (2016), “Valutazioni integrate per la gestione delle nuove sfide sociali”, in *Valori e Valutazioni*, vol. 17, pp. 15-17.

Monsù Scolaro, A. (2017), *Progettare con l’esistente – Riuso di edifici, componenti e materiali per un processo edilizio circolare*, FrancoAngeli, Milano.

Rifkin, J. (2011), *La terza rivoluzione industriale*, Mondadori, Milano.

Rockefeller Foundation (2019), *Resilient Cities, Resilient Lives – Learning from the 100RC Network*. [Online] Available at: resilientcitiesnetwork.org/downloadable_resources/UR/Resilient-Cities-Resilient-Lives-Learning-from-the-100RC-Network.pdf [accessed 10 October 2022]

Schipper, E. L. F. and Langston, L. (2015), *A comparative Overview of Resilience Measurement Frameworks – Analysing Indicators and Approaches*, Working paper, 422, Overseas Development Institute, London. [Online] Avail-

able at: cdn.odi.org/media/documents/9754.pdf [Accessed 22 September 2022].

SGGE – Stati Generali della Green Economy (2017), *Verso l’attuazione del Manifesto della Green Economy per l’architettura e l’urbanistica – Obiettivi, ambiti di indirizzo, strategie prioritarie*, SUSDEF Pubblicazioni, Roma. [Online] Available at: statigenerali.org/wp-content/uploads/2017/11/ssge_2017_documento_gdl_architettura_urbanistica.pdf [Accessed 10 October 2022].

Suárez-Eiroa, B., Fernández, E. and Méndez, G. (2021), “Integration of the circular economy paradigm under the just and safe operating space narrative – Twelve operational principles based on circularity, sustainability and resilience”, in *Journal of Cleaner Production*, vol. 322, article 129071, pp. 1-13. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129071 [Accessed 22 September 2022].

Tucci, F., Cecafosso, V., Caruso, A. and Turchetti, G. (2020), *Adattamento ai cambiamenti climatici di architettura e città green – Assi strategici, indirizzi, azioni d’intervento per la resilienza dell’ambiente costruito*, FrancoAngeli, Milano.

Turino, R. (2010), *L’Aquila – Il Progetto C.A.S.E.*, IUSS Press, Pavia.

UNEP – United Nations Environment Programme (2011), *Towards a Green Economy – Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication*. [Online] Available at: unep.org/resources/report/towards-green-economy-pathways-sustainable-development-and-poverty-eradication-10 [Accessed 22 September 2022].

UN – General Assembly (2015), *Transforming our world – The 2030 Agenda for Sustainable Development*, document A/RES/70/1. [Online] Available at: sdgs.un.org/documents/ares701-transforming-our-world-2030-agen-21254 [Accessed 22 September 2022].

Verda, M. (ed.) (2015), *Energia e geopolitica – Attori e tendenze del prossimo decennio*, ISPI, Milano. [Online] Available at: ispionline.it/sites/default/files/publicazioni/isp_i_energia_0_0.pdf [Accessed 22 September 2022].

Viscuso, S. (2020), *La progettazione agile dell’architettura – Riflessioni per un nuovo codice tecnologico per progettare e costruire*, LetteraVentidue Edizioni, Siracusa.

Zaffagnini, M. (ed.) (1994), *Architettura a misura d’uomo*, Pitagora, Bologna.

STRUMENTI DI MONITORAGGIO PER ABILITARE IL RISPARMIO ENERGETICO NELL'EDILIZIA SOCIALE

MONITORING TOOLS AS ENERGY SAVING ENABLERS IN SOCIAL HOUSING CONTEXT

Jacopo Gaspari, Lia Marchi, Carlotta Oberosler, Ernesto Antonini

ABSTRACT

Il miglioramento dell'infrastruttura digitale previsto dal Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) prospetta per il settore residenziale nuove opportunità di riduzione dei consumi energetici basate sul comportamento dell'utente. La dotazione di strumenti intelligenti per il monitoraggio energetico consentirebbe di migliorare il comfort indoor, limitare la spesa delle famiglie e ridurre l'impatto ambientale. Tuttavia, la diffusione di tali tecnologie, già disponibili sul mercato, dipende dalla capacità di interagire attivamente con esse e dalla comprensione dei relativi vantaggi. Lo studio indaga l'interazione degli utenti con la dotazione impiantistica tipica degli alloggi sociali, incrociando l'opinione degli abitanti con rilievi strumentali su un caso pilota a Bologna, allo scopo di definire le caratteristiche di uno strumento integrativo per informare l'utente e suggerire buone pratiche di consumo.

The improvement of the digital infrastructure envisaged by the National Recovery and Resilience Plan (PNRR) promises new opportunities for reducing energy consumption based on user behaviour for the residential sector. Smart tools for energy monitoring would make it possible to improve indoor comfort, limit household expenses and reduce their environmental impact. However, the diffusion of these technologies, which are already available on the market, largely depends on the ability of users to actively interact with them and on the understanding of their advantages. The study investigates the interaction of users with the typical system and equipment of social housing, comparing the opinion of the inhabitants with instrumental monitoring on a pilot case in Bologna, in order to define the characteristics of an integrative tool to inform the user and suggest good energy use practices.

KEYWORDS

transizione energetica e digitale, edilizia sociale, povertà energetica, contatore intelligente, comportamento dell'utente

energy and digital transition, social housing, energy poverty, smart monitoring, user behaviour

Jacopo Gaspari, Architect and PhD, is an Associate Professor at the Department of Architecture of the University of Bologna (Italy). His research interests concern transition and energy efficiency, the development of adaptive envelope solutions, and the mitigation of climate change in the built environment. E-mail: jacopo.gaspari@unibo.it

Lia Marchi, Architect and PhD, is a Research Fellow, Adjunct Professor at the Department of Architecture of the University of Bologna (Italy). Her main research interests are green building technologies and design support tools, the design of sustainable holistic factories and the interactions between building and user. E-mail: lia.marchi3@unibo.it

Carlotta Oberosler, Architect, is a Technical Officer at the Emilia-Romagna House Company (ACER) in Bologna (Italy), where she deals with social housing linked both to the design phase and the management process. E-mail: coberosler@acerbologna.it

Ernesto Antonini, Architect and PhD, is a Full Professor at the Department of Architecture of the University of Bologna (Italy). Vice-president of the SITdA, he researches on innovative building techniques and materials, tools for the construction process, construction and demolition waste and sustainable architecture.



Le azioni previste dal Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza¹ (PNRR) a sostegno della transizione energetica – che ne costituisce un obiettivo primario – investono un complesso di ambiti, tra cui assume particolare rilievo quello di adeguare e migliorare l'infrastruttura digitale (Gaspari et alii, 2022). Oltre il 20% dei 191,5 Miliardi di euro del Piano è infatti dedicato all'azione 'M1 – Digitalizzazione', con lo scopo dichiarato di semplificare processi di gestione e interfaccia tra sistemi digitali (Fig. 1). Nel campo delle forniture energetiche, ciò interessa soprattutto le attività di controllo e acquisizione dei dati da parte dei soggetti interessati e si traduce nel concreto in un duplice obiettivo: da un lato, per il soggetto pubblico, ottenere un quadro di riferimento più attendibile della domanda energetica e delle diverse fonti di approvvigionamento e dall'altro aprire nuovi interessanti scenari circa la possibilità di permettere all'utente un maggiore livello di comprensione degli effetti diretti dei suoi comportamenti quotidiani sui consumi energetici.

L'articolo illustra uno studio volto a indagare le potenzialità dei comportamenti dell'utente nel ridurre la domanda energetica dell'abitazione, ed è così strutturato: le prime due sezioni discutono il peso dell'edilizia residenziale nell'ambito delle politiche di supporto della transizione energetica; quindi, viene introdotto il panorama di strumenti e strategie ad oggi disponibili per stimolare l'adozione di buone pratiche energetiche in ambito domestico. Segue l'enunciazione delle finalità e degli obiettivi dello studio, quindi la metodologia generale e le fasi operative; infine, l'articolo presenta e discute i risultati ottenuti a seguito delle attività di ricerca condotte.

Transizione energetica e ruolo degli utenti nel settore residenziale

Il settore residenziale rappresenta un asset strategico della transizione, essendo responsabile di circa il 27% dei consumi finali di energia, sia a livello globale (IEA, 2022) sia all'interno dell'Unione Europea (European Commission, 2022; Fig. 2). In Italia, il Rapporto sulla Situazione Energetica Nazionale del 2021 evidenzia che, nonostante i progressi registrati nei sei anni precedenti, occorre rivedere gli obiettivi e le strategie di efficientamento energetico, per stare al passo con l'ambizioso obiettivo comunitario di raggiungere la neutralità climatica entro il 2050 (Ministero della Transizione Ecologica, 2020), nonché per far fronte alla contingente crisi energetica dovuta alla diminuzione di approvvigionamento di gas dalla Russia.

Il rapporto evidenzia inoltre che nel 2021 la spesa energetica di una famiglia tipo ammontava a 3.300 euro², corrispondente a circa il 10% del reddito familiare medio ISTAT. Circa il 53% di questa quota è impiegata per le bollette del gas e dell'energia elettrica domestica, dato che è certamente destinato a essere rivisto al rialzo considerando le oscillazioni che si stanno registrando nei prezzi dei combustibili (Fig. 3). Dunque, risulta ancora più necessario e urgente supportare la transizione energetica del settore residenziale mediante politiche, azioni e strumenti in grado di favorire la riduzione dei consumi degli edifici e i relativi costi; quindi, di abbattere gli impatti ambientali ad essi connessi e migliorare le condizioni di comfort indoor. A tal fine, vi sono molteplici traiettorie di azione.

Da un lato, vi è la consapevolezza che la maggior parte del potenziale di riduzione dei consumi dipenda dagli interventi tecnici sul patrimonio edilizio esistente, e in particolare da quelli volti a ridurre il fabbisogno energetico durante la fase di esercizio (Levine et alii, 2017). A questi è infatti dedicato un asset di finanziamento apposito del PNRR, all'interno della missione Rivoluzione Verde e Transizione Energetica: azione M2-C3 – Efficienza Energetica e Riqualificazione degli Edifici (Fig. 4). Grande attenzione è quindi rivolta a supportare la riqualificazione del patrimonio esistente per mezzo di incentivi e detrazioni fiscali. Dall'altro lato, tuttavia, la letteratura scientifica sul tema evidenzia la sempre maggiore rilevanza del ruolo dell'utente nell'adeguare i profili di consumo energetico, in relazione al mutare del mercato, al crescente livello di consapevolezza ambientale e alla capacità di interazione tra individuo e sistemi impiantistici più o meno intelligenti (Gaspari et alii, 2021; Sirombo et alii, 2021; Völker et alii, 2021). In questo quadro emerge con forza la potenzialità di impianti e strumenti digitali intelligenti come mezzi in grado di facilitare la transizione energetica (Romero, De Agustin and Tsitsanis, 2018).

Per quanto il cambiamento comportamentale possa determinare una quota modesta di riduzione dei consumi – il cui peso relativo, tuttavia, aumenta all'aumentare delle prestazioni energetiche dell'edificio – gli effetti attesi su larga scala sono comunque notevoli. In particolare, ciò focalizza l'attenzione sui possibili effetti che le condizioni al contorno inducono sulla povertà energetica, a cui risultano particolarmente esposte le fasce di popolazione più deboli, tipicamente insediate negli alloggi di edilizia sociale (BIPIE, 2014). Queste sono molto spesso caratterizzate da un generale disinteresse o scarso livello di consapevolezza degli effetti delle proprie azioni sui consumi energetici domestici, a cui contribuisce anche la mancanza di informazioni e riscontri diretti sugli stessi.

Quindi, a prescindere dalla risposta tecnica e dall'efficienza dell'edificio, si apre un interessante fronte di indagine sulle potenzialità derivanti dalla diffusione di mezzi e dispositivi informativi personalizzati sull'utente, quali strumenti abilitativi diretti, con effetti attesi particolarmente apprezzabili nelle fasce di popolazione esposte al rischio di povertà energetica – riduzione della bolletta mediante cambiamento comportamentale, non necessariamente derivante da un investimento economico di riqualificazione (Caballero and Della Valle, 2021; Hafner et alii, 2019).

Strumenti di monitoraggio e risposta degli utenti

Il cambiamento comportamentale dell'utente in relazione ai modelli di consumo energetico domestico è dunque un tema di crescente interesse nella letteratura scientifica, con differenze di oltre il 40% rilevate nei consumi relativi a edifici identici, ma occupati da abitanti diversi (Delzenhe et alii, 2017; Levine et alii, 2017). Per sfruttare tale potenziale e convergere verso gli obiettivi nazionali di transizione energetica, risulta necessario operare su due fronti complementari: da un lato, è imprescindibile introdurre strumenti in grado di registrare efficacemente e tempestivamente i livelli di consumo e quindi ottimizzare l'offerta; dall'altro, occorre assicurare l'ampia diffusione di sistemi che permettano all'utente di verificare facilmente

e in modo affidabile gli effetti dei propri comportamenti sulla domanda energetica.

Sul mercato sono già disponibili numerose tecnologie adatte allo scopo, e sono in corso diverse sperimentazioni per migliorarne l'efficacia, specialmente in relazione all'interazione con gli utenti (Darby, 2006; Ehrhardt-Martinez, Donnelly and Laitner, 2010; Joachain and Klopfer, 2014; Serrenho, Zangheri and Bertoldi, 2015). Tra queste, vale la pena menzionare i contatori intelligenti – che stanno progressivamente sostituendo quelli tradizionali su tutto il territorio – così come i moderni termostati e valvole termostatiche e le relative applicazioni online/su smartphone gestite dai fornitori di energia, ma anche strumenti più sofisticati in grado di interagire automaticamente con sistemi impiantistici di tipo domotico, ad esempio In-Home Display – IHD (Balakrishnan and Geetha, 2021; Gomes et alii, 2022).

Alcuni di questi dispositivi consentono all'utente di visualizzare i dati relativi ai propri consumi con frequenze variabili (da mensile a istantanea) e in certi casi di regolare manualmente o automaticamente i parametri che influenzano le condizioni di comfort interno. Taluni permettono anche la comparazione dei dati con quelli medi di altri utenti con caratteristiche simili e forniscono consigli concreti e indicazioni per risparmiare e ridurre l'impatto ambientale. Sebbene le modalità di interazione con i terminali impiantistici e il tipo di feedback che l'utente riceve possano influenzare fortemente le pratiche e i comportamenti, disporre di informazioni del loro effetto sul consumo di energia è quasi sempre utile, avendo spesso gli utenti scarsa consapevolezza di questa correlazione (Huebner, Cooper and Jones, 2013).

La vera sfida dunque non consiste tanto nello sviluppo di nuovi strumenti tecnici, ma riguarda piuttosto la diffusione su larga scala di questi dispositivi legata alla comprensione dei vantaggi della loro utilizzazione da parte degli utenti e dalla loro capacità di interagirvi attivamente e quindi di reagire alle informazioni rese disponibili. Oggi la straordinaria stagione di investimenti pubblici volti a supportare la transizione digitale ed energetica del patrimonio abitativo favorisce in maniera decisa l'avvio di sperimentazioni e riflessioni strategiche su questi temi da attuare in maniera sinergica con i programmi di riqualificazione già in corso.

Importanti ricerche sul tema dimostrano la centralità del problema, come è nel caso del progetto Social Green³ in ambito Interreg o di Replicate⁴ finanziato da H2020, entrambi centrati sullo studio e l'installazione di strumenti di monitoraggio intelligenti per ottimizzare i consumi energetici degli edifici e stimolare il cambiamento comportamentale. In ambito nazionale anche ENEA, con DHOMUS⁵, ha sviluppato una piattaforma dedicata agli utenti residenziali con l'obiettivo di renderli consapevoli dei propri consumi energetici e guidarli a contenere sia i consumi sia i costi. Tuttavia la replicabilità e la scalabilità di tali soluzioni rimangono il punto critico della questione e necessitano di ulteriori approfondimenti.

Obiettivi e finalità | In questo quadro, l'articolo riporta uno studio finalizzato a indagare il potenziale impatto del comportamento dell'utente sui consumi finali di energia dell'abitazione, quindi a delineare possibili strumenti e strategie per mas-

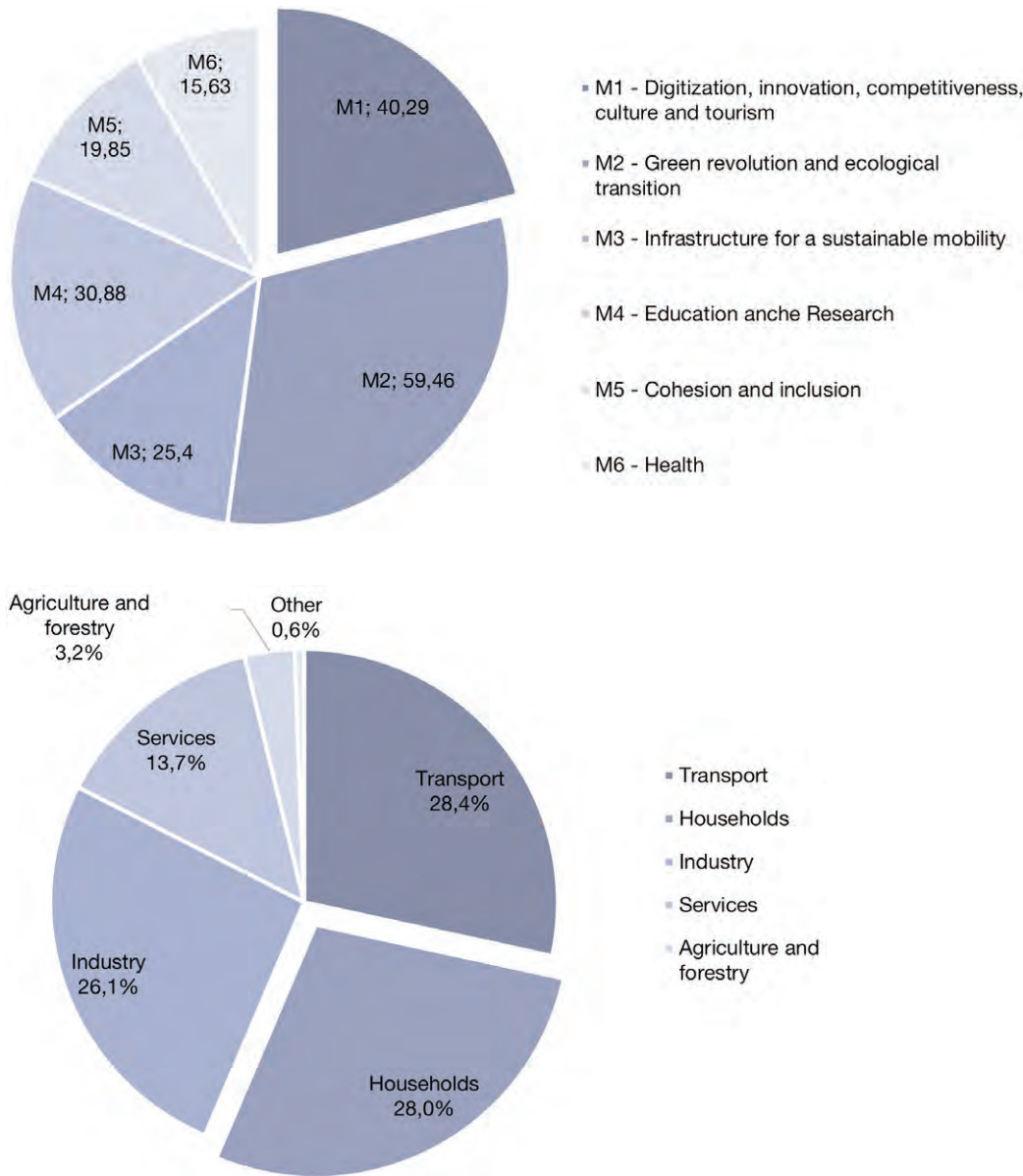


Fig. 1 | Breakdown of PNRR investments into 6 missions – M1d (credit: C. Oberosler, 2022).

Fig. 2 | Final energy use per sector in Europe (credit: elaborated by the authors based on Eurostat, 2021).

simizzarne gli effetti su larga scala. In particolare la ricerca si focalizza sull'utilizzo di strumenti digitali per il monitoraggio e la gestione della domanda energetica all'interno delle abitazioni di edilizia residenziale pubblica, da combinare con gli interventi di manutenzione periodica e i ricorrenti programmi di riqualificazione degli alloggi operati dalle Aziende Casa.⁶

La ricerca dà seguito al progetto InSPIRE⁷ (Integrated technologies for Smart buildings and PREdictive maintenance), finanziato dalla Regione Emilia-Romagna mediante il Fondo Europeo di Sviluppo Regionale (POR FESR 2014-2020) e il Fondo per lo Sviluppo e la Coesione (FSC), che si proponeva l'implementazione di tecnologie abilitanti integrate a componenti e sistemi edilizi per il monitoraggio di parametri prestazionali energetici, strutturali, di salubrità ambientale e comfort degli alloggi. Lo studio si pone inoltre all'interno di una più ampia collaborazione tra l'Azienda Casa Emilia-Romagna di Bologna (ACER BO) e l'Università di Bologna, con lo scopo di supportare i gestori di edilizia pubblica nella pianificazione integrata di attività di manutenzione e riqualificazio-

ne, in particolare individuando strategie e tecnologie per alleviare la fragilità socioeconomica degli inquilini.

Metodologia | All'interno del parco edilizio in gestione ad ACER BO, consistente in oltre 18.000 alloggi distribuiti su un'area di competenza di oltre 3.700 kmq, l'approfondimento ha riguardato il distretto 'Bolognina', un'area della città di Bologna denotata da una straordinaria concentrazione di edilizia sociale, che rende la zona particolarmente delicata tanto dal punto di vista socioeconomico quanto energetico-ambientale (Fig. 5). In primo luogo, lo studio ha condotto alla definizione di una procedura per individuare le migliori strategie di riqualificazione energetica da adottare sul vasto e differenziato stock ACER, facilitando l'Azienda nella selezione degli interventi più efficaci caso per caso, e quindi nell'ottimizzazione delle scarse risorse finanziarie disponibili. Il risultato è uno strumento predittivo per la simulazione e comparazione speditiva degli effetti di diversi interventi di retrofitting sul patrimonio di edilizia sociale, capace di integrare considerazioni ambientali ed eco-

nomiche e quindi aiutare i gestori a selezionare e prioritizzare gli stessi interventi in maniera più efficace (Vodola et alii, 2022).

Su queste basi si inserisce una seconda fase di ricerca, volta a indagare come il comportamento degli utenti possa influenzare la domanda energetica dell'abitazione. Ovvero, quali strategie e quali strumenti possono introdurre i gestori di edilizia pubblica per stimolare efficacemente la riduzione dei consumi e al contempo alleviare i carichi economici sugli utenti finali. L'assunto di base è infatti che, per quanto gli effetti del comportamento energetico positivo dell'utente siano proporzionalmente più apprezzabili in edifici ad alte prestazioni, il ruolo delle buone pratiche di consumo energetico in ambito domestico possa assumere oggi più che mai rilievo, specialmente in contesti socioeconomici fragili come quelli oggetto di studio. Gli obiettivi specifici di questa fase sono: a) indagare le modalità con cui gli utenti interagiscono e comprendono le informazioni trasmesse dagli strumenti di monitoraggio e regolazione già disponibili negli alloggi, quindi valutarne l'efficacia nello stimolare e incoraggiare buone pratiche di consumo energetico; b) definire i requisiti e le caratteristiche di uno strumento digitale da integrare a tale strumentazione per migliorarne l'efficacia.

Di conseguenza, la metodologia adottata è così articolata:

– Fase 1: 1.a) mappatura della consistenza del parco edilizio disponibile; 1.b) definizione delle possibili strategie di riqualificazione energetica; 1.c) applicazione dello strumento e prioritizzazione degli interventi sugli edifici di proprietà ACER BO;

– Fase 2: 2.a) individuazione degli edifici campione entro il parco di ACER BO, assunti come caso pilota; 2.b) elaborazione di un questionario per gli utenti; 2.c) installazione di un set di strumenti di monitoraggio della qualità ambientale dell'alloggio, di cui sono indagati gli effetti e l'efficacia dell'interazione con gli utenti mediante analisi incrociata dei dati e confronto con gli esiti dei questionari somministrati; 2.d) elaborazione e confronto dei dati ottenuti; 2.e) definizione di strategie e studio di dispositivi integrabili negli alloggi per supportare l'utente nella comprensione del funzionamento del sistema e, in una sua più efficiente regolazione, da integrare con l'adozione di buone pratiche di consumo energetico; 2.f) predisposizione di uno strumento da installare negli alloggi campione; 2.g) verifica delle ipotesi sulla sua efficacia e fattibilità, mediante affinamento e integrazione della campagna di monitoraggio combinata con il questionario per gli utenti, ai fini di un suo lancio su larga scala. La successiva sezione dell'articolo presenta e discute gli esiti delle prime attività della fase 2.

Fasi operative | La prima attività della fase 2 della ricerca ha riguardato l'analisi delle funzionalità e potenzialità degli strumenti installati da ACER Bologna nell'ambito di un proprio programma di sperimentazione che ha portato all'installazione in un campione di alloggi di: cronotermostati manuali per la regolazione della temperatura in regime invernale; di sistemi di oscuramento esterni a movimentazione manuale; comandi di accensione/spegnimento dell'impianto di ventilazione meccanica controllata. Per indagare le modalità di interazione degli utenti con questa strumentazione, nonché gli effetti percepiti sulla qualità ambientale

dell'alloggio, è stato predisposto un questionario anonimo a risposta multipla (attività 2.b; Fig. 6). Nella definizione delle domande si è tenuto conto dell'eterogeneo livello di comprensione e alfabetizzazione riscontrabile nella particolare tipologia di utenti⁸, prediligendo un linguaggio semplice e diretto e un tempo di compilazione inferiore a dieci minuti.

Per poter inquadrare le risposte degli utenti rispetto alle condizioni ambientali effettive è stata quindi avviata una campagna di monitoraggio sia sugli edifici, che sui singoli alloggi. A scala di edificio sono stati raccolti tutti i dati relativi ai consumi energetici su base giornaliera ed eseguite indagini termografiche per valutare le dispersioni e i ponti termici eventualmente presenti. Nei singoli alloggi sono state installate sonde per il rilevamento delle temperature, dell'umidità, della CO₂ e dei Composti Organici Volatili (VOC), distribuite come nella Tabella 1 (attività 2.c). Contestualmente il questionario è stato somministrato ai residenti.

Successivamente si è proceduto alla raccolta e interpretazione dei dati relativi al questionario e al monitoraggio dei consumi e della qualità dell'aria interna. Su queste basi si sono avviate le successive azioni del programma di ricerca che consistono nella definizione di regolazioni e modalità di interazione tra utente e terminali del sistema impiantistico disponibili, nonché delle integrazioni delle funzionalità dei dispositivi, che potrebbero portare a un'efficace riduzione dei consumi e relativi effetti sulle bollette (attività 2.d, ancora in corso). Intanto si è condotto uno studio dei dispositivi disponibili sul mercato a questo scopo, indagando caratteristiche e potenzialità in particolare di quelli a basso costo e facile integrazione con la dotazione standard del patrimonio di edilizia sociale nazionale.

Ciò ha permesso di delineare le caratteristiche della strumentazione meglio integrabile da ACER negli alloggi del proprio stock per rispondere all'esigenza, definendo una sorta di 'blueprint' finalizzato a stimolare lo scambio di informazioni e dati tra sistema impiantistico e utente, da sottoporre in seguito a verifica mediante il lancio di una seconda campagna di indagine tra i residenti. Prima di replicare il processo l'esito è valutato sulla scorta delle seguenti domande: i requisiti fondamentali di tali strumentazioni sono soddisfatti? Come la strumentazione può favorire un efficace scambio di informazioni tra edificio e utente? Quali dati, in quali formati e con quali modalità di comunicazione le informazioni possono essere rese intelleggibili ad utenti non tecnici con bassi livelli di istruzione? Come suggerire e rendere possibile all'utente di agire in relazione alle informazioni che ottiene (ad esempio regolando il termostato o cambiando una certa pratica di consumo)?

Sperimentazione e discussione dei risultati |

Questa prima fase della ricerca ha investito due immobili di proprietà di ACER Bologna, selezionati tra quelli recentemente oggetto di recupero e riqualificazione, dove gli effetti del cambiamento comportamentale sulla domanda energetica finale dell'alloggio sono maggiormente apprezzabili (Figg. 7, 8). I due edifici sono parte del complesso immobiliare che si trova in via Albani a Bologna, nell'area della Bolognina, e include 64 alloggi con superfici variabili tra 30 e 80 metri quadrati, oltre ad autorimesse e alcuni locali che ospitano ser-

vizi sociali per l'adolescenza (Fig. 9). I locali sono dotati di impianto di riscaldamento radiante a pavimento, con temperature regolabili per ciascun ambiente attraverso termostati. A monte del collettore di ogni unità immobiliare è stato installato un crono-termostato che consente di accendere/spegnere l'impianto a ore stabilite dall'utenza. Il sistema impiantistico è completato dalla ventilazione meccanica dotata di recuperatore di calore, a servizio di tutti gli ambienti. Inoltre, un impianto solare termico installato in copertura integra la produzione di acqua calda sanitaria. A seguito dell'intervento di riqualificazione completato nel 2020, gli immobili hanno conseguito la Certificazione CasaClima classe A, con un fabbisogno di energia pari a circa 26 kWh/m²anno.

Al momento della consegna degli alloggi agli utenti, ACER ha fornito un sintetico manuale di istruzioni contenente le indicazioni essenziali per l'uso degli impianti. È stato inoltre promosso un incontro di formazione in presenza, per fornire ai locatari indicazioni sulle tecnologie impiegate nella costruzione dell'edificio, sui contenuti della sperimentazione, sulle modalità di conduzione degli alloggi e dei relativi impianti. Tra febbraio 2019 e novembre 2020 sono stati effettuati monitoraggi relativi al benessere interno e ai consumi energetici degli alloggi (Fig. 10). Contemporaneamente, è stata condotta un'indagine telefonica tra gli inquilini, per rilevare il livello di soddisfazione della qualità ambientale percepita e della facilità d'uso e gestione degli impianti. Sulla base degli esiti

dell'indagine e del monitoraggio strumentale è stato compilato un report riassuntivo.

Nell'insieme, lo studio ha evidenziato un'elevata soddisfazione dell'utenza, come mostrato in Figura 11. In particolare, per quanto riguarda il controllo della temperatura in regime invernale (Q5, Q13), si rileva una buona soddisfazione degli utenti rispetto al comfort termico, riscontrato dai dati strumentali e confermato dalle verifiche termografiche sull'involucro. Tuttavia, alcune segnalazioni indicano una difficoltà di regolazione dell'impianto, dovuta a discrepanze tra la temperatura impostata dall'utente (set point) e quella – sempre maggiore – realmente registrata e percepita nella stanza. Per quanto riguarda il comfort termico in regime estivo (Q6-Q8), gli utenti risultano mediamente più soddisfatti rispetto a quello invernale, confermando di usare effettivamente i dispositivi di schermatura, regolando in relazione con i livelli di radiazione solare incidente. Tuttavia la metà degli intervistati segnala che preferirebbe un sistema più agile e automatico per la manovra degli oscuranti; inoltre, gli utenti insoddisfatti segnalano la necessità di installare un sistema per il raffrescamento estivo. Infine, in relazione alla qualità dell'aria interna (Q11, Q12), un terzo degli utenti lamenta come fastidioso il sistema di ventilazione, o a causa del rumore prodotto, o per l'inefficacia nell'eliminare odori sgradevoli all'interno degli ambienti.

Nonostante il generale livello di soddisfazione, il confronto delle risposte con gli esiti del monitoraggio strumentale ha evidenziato che vi sono si-

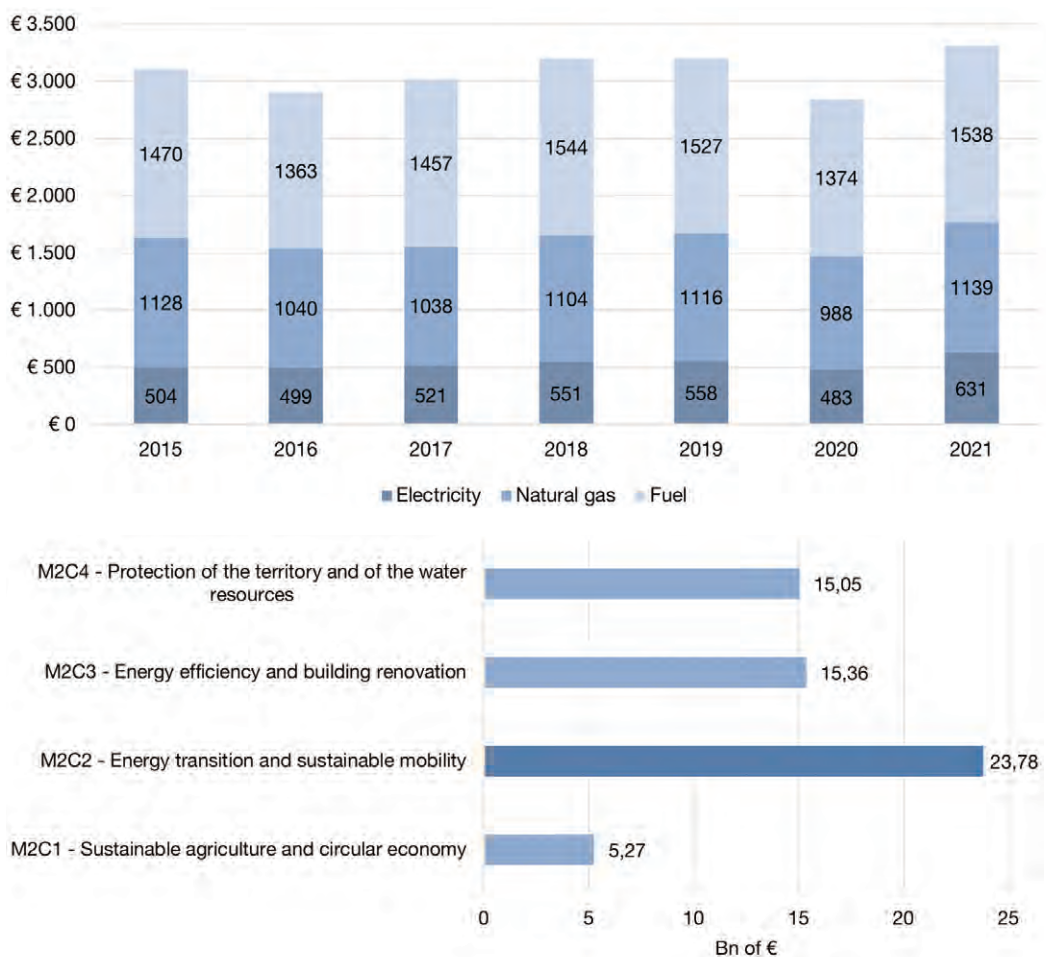


Fig. 3 | Trend in energy cost of a typical household per year, 2015-2021 (credit: elaborated by the authors based on GSE, ARERA, Istat and MISE, 2022).

Fig. 4 | Breakdown of investments in mission M2 – Green Revolution and Energy Transition (credit: C. Oberosler, 2022).



Fig. 5 | Bolognina district in relation to the city of Bologna (credit: elaborated by C. Oberosler based on Google Maps, 2022).

gnificativi margini di miglioramento. Una simulazione ha infatti messo in luce che, abbassando la temperatura di 2 °C in regime invernale, qualora il sistema edificio-impianto assecondasse pienamente tale regolazione, sarebbe possibile dimezzare i consumi di metano e, di conseguenza, dimezzare i costi energetici per il riscaldamento. Scenari analoghi si evidenziano anche per gli altri parametri ambientali. Rispetto alla qualità dell'aria, infatti, l'utente non è al momento in grado di visualizzare dati relativi alle concentrazioni di inquinanti presenti negli ambienti e, anzi, infastidito dal rumore dell'impianto di ventilazione meccanica, tende a spegnere il sistema, provocando di conseguenza l'aumento di tali valori.

Ne consegue che l'utente avrebbe potuto facilmente attuare alcune regolazioni se solo avesse ricevuto una segnalazione a proposito, arrivando a concretizzare quella tanto auspicata interazione tra dati reali degli impianti, regolazione dei terminali per la riduzione dei consumi e buone pratiche dell'utente nella gestione responsabile e consapevole del proprio alloggio. Sarebbe pertanto possibile ridurre significativamente i consumi suggerendo agli utenti delle regolazioni opportune mediante messaggi di allerta o su dispositivo mobile o su display installato negli appartamenti, le cui caratteristiche sono tuttavia ancora in via di definizione.

Le attività finora svolte hanno evidenziato alcune criticità di cui tenere conto in vista della fase di replicazione su larga scala. In particolare, nonostante il questionario sia stato pensato per dare un immediato riscontro all'utente riguardo alle pratiche di gestione energetica dell'alloggio, sono emerse resistenze degli abitanti a partecipare, alimentate dal sospetto circa le intenzioni del gestore, nonché dalla difficoltà di trovare un nesso diretto tra le domande e le possibili azioni sul sistema, e dalla barriera linguistica per gli utenti stranieri. Quindi il testo della survey da preparare per la fase di replicazione dovrà essere più corto, multilingua (tenendo conto delle origini degli abitanti) e costruito sulla base dei concreti risparmi conseguibili attuando le azioni suggerite agli utenti.

Sviluppi futuri e riflessioni finali | L'articolo presenta i primi risultati di un programma di speri-

mentazione volto ad analizzare come gli strumenti di contabilizzazione intelligenti e di regolazione dei parametri ambientali possano aiutare la transizione energetica degli alloggi, consentendo sia agli utenti finali sia alle aziende di servizi pubblici di adeguare di conseguenza e in maniera corrispondente la loro domanda e le loro offerte. La ricerca punta a sensibilizzare la comunità scientifica rispetto al ruolo assegnato agli utenti finali nella stima dei potenziali risparmi energetici, nonché alla comprensione dei potenziali effetti riguardanti la povertà energetica a livello politico.

L'originalità dello studio risiede dunque nell'affrontare il tema cruciale della riduzione della domanda energetica degli edifici puntando l'attenzione non tanto sui dispositivi smart disponibili sul mercato, ormai tecnicamente consolidati e validati, quanto piuttosto sulla capacità di risposta comportamentale del singolo utente. Lo studio si fonda infatti sul presupposto che una profonda comprensione dei vantaggi dell'utilizzo di queste strumentazioni intelligenti da parte dei residenti sia requisito fondamentale per la loro diffusione e per la loro concreta efficacia, indagando come questi possano essere diffusi su scala ampia. Inoltre la ricerca si interroga su un altro fondamentale ed estremamente attuale tema, cioè come l'utente opportunamente informato possa contribuire a limitare la richiesta di energia dell'abitazione senza ridurre i livelli di comfort. Tali questioni risultano infatti sempre più rilevanti alla luce del caro bolletta atteso per i prossimi mesi, ma anche per una più generale attenzione al contrasto al cambiamento climatico e al benessere sociale. In aggiunta, la diffusione di strumenti di monitoraggio intelligente potrebbe aiutare anche i fornitori di energia per la messa a punto di innovativi programmi di domanda-offerta flessibili, personalizzati per edificio o distretto, da combinarsi efficacemente con la diffusione di sistemi locali di produzione di energia da fonti rinnovabili.

Pur essendo focalizzato sul particolare contesto dell'edilizia sociale, le ipotesi e i risultati attesi da questo studio possono facilmente essere trasferiti ad altri contesti residenziali e non solo, favorendo una generale riduzione dei consumi energetici attuata dall'utente, da combinarsi con il grande potenziale di riduzione degli interventi tecnici sugli edifici. Infatti la fase sperimentale condotta sull'housing sociale dimostra la necessità di creare maggiore collegamento tra dato e comportamento dell'utente, ma anche il grande potenziale che questa pratica potrebbe avere, non solo nel limitare la povertà energetica ma anche nel promuovere il tanto auspicato cambiamento di mentalità: il comportamento virtuoso così non è più conseguenza di una necessità economica (ridurre la bolletta), ma diventa il tratto distintivo di una nuova tipologia di utenti, più consapevoli. Un possibile sviluppo dello studio consiste quindi nella modifica del questionario in funzione della sua replicabilità su larga scala nel mercato ordinario, che in questo particolare momento storico è colpito dalla questione energetica indipendentemente dalla fascia sociale di appartenenza.

The actions included in the National Recovery and Resilience Plan¹ (PNRR) to support the energy transition – which is one of its primary goals – im-

pact on a wide range of topics, among which the 'improvement and update' of the digital infrastructure is of great relevance (Gaspari et alii, 2022). Over 20% of the 191,5 Billion euro of the Plan are devoted to the action 'M1 – Digitalization' with the manifest ambition to smooth the management process and the interface of digital systems (Fig. 1). In the field of energy supplies, this particularly impacts on data gathering and control by the subjects involved with a twofold objective: on the one hand to gain a more reliable picture – from the public administration perspective – about the energy demand and related supply sources, on the other to open new scenarios about the end-users' capacity to understand the effects of their own daily behaviour on energy demand.

This paper reports a study which aimed to investigate the potential of end-users' behaviour in reducing their house energy demand according to the following structure: the first two sections discuss the weight of the residential sector within the field of energy transition supporting policies; the set of tools and strategies currently available to stimulate energy savings in the housing sector is then introduced. The scope and the specific objectives of the study are then stated followed by the methodology and the operative stages. Lastly, the paper discusses the outcomes of the research activities undertaken.

Energy transition and the role of end-users in the housing sector

The residential sector represents a strategic asset of the transition process, being responsible for 27% of the final energy consumption both at global (IEA, 2022) and European Union level (European Commission, 2022; Fig. 2). In Italy, the 2021 Report on the National Energy Condition highlights that, despite the progress of the last six years, the energy improvement objectives and strategies have to be revised to meet the ambitious EU goal of achieving climate neutrality by 2050 (Ministero della Transizione Ecologica, 2020), as well as to deal with the current energy crisis due to the decrease in gas supplies from Russia.

The report also highlights that in 2021 the energy expenditure of a typical family amounted to 3,300 euro², corresponding to about 10% of the average ISTAT family income. Approximately 53% of this share is used for gas and domestic electricity bills, which will certainly be revised upwards considering the fluctuations recorded in fuel prices (Fig. 3). Therefore, it is even more necessary and urgent to support the energy transition of the residential sector through policies, actions and tools able to foster a reduction of building consumption and related costs as well as to reduce the related environmental impacts while improving indoor comfort conditions. To this end, there are multiple trajectories of action.

On the one hand, there is the awareness that most of the potential for reducing demand depends on technical interventions on the existing building stock and particularly on those aimed at reducing energy needs during the operational phase (Levine et alii, 2017), which is addressed through a specific funding asset of the PNRR within the Green Revolution and Energy Transition mission: action M2-C3 – Energy Efficiency and Redevelopment of Buildings (Fig. 4). Great attention is consequently paid to supporting the exist-


Q1 How much are you satisfied with your home?

Very much

Well enough

A little

Not at all




Q2 How long have you been living here?

> 1 year

1 year - 3 months

< 3 months




Q3 Would you recommend to your best friend to live in a flat like yours?

Yes

No

I am not sure




Q4 How much are you satisfied with the daylight level in the rooms?

Very much

Well enough

A little

Not at all




Q5 How much are you satisfied with the room temperature in winter?

Very much

Well enough

A little

Not at all




Q6 How much are you satisfied with the room temperature in summer?

Very much

Well enough

A little

Not at all




Q7 Are you used to adjusting sun shading to keep the summer heat out and let the sun in during winter?

Yes

No

Don't know




Q8 How demanding do you think this type of manual adjustment is?

Very much

Well enough

A little

Not at all




Q9 How well do you consider that walls and windows of your home insulate from noise from outside and from neighboring dwellings?

Very well

Well enough

A little

Not at all



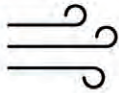
Q10 How much are you satisfied with the air quality in the rooms?

Very much

Well enough

A little

Not at all

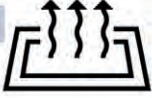


Q11 If available, is there something bothering you in the ventilation system?

Yes

No

Don't know




Q12 If yes, what is bothering you the most?

Noisiness

Bad smell

Other



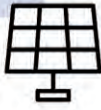
Q13 How much are you satisfied with the solar panels?

Very much

Well enough

A little

Not at all




Q14 Do you have suggestions to improve the indoor quality of your home?

Summer air conditioning

Maintenance issues

Other

Don't know



Personal information

Gender

Female

Male

Age range

<30 years old

31-60 years old

>60 years old

Fig. 6 | Outline of the survey for inhabitants (credit: C. Oberosler, 2022).

ing stock renovation by means of incentives and tax deductions. On the other hand, however, the scientific literature highlights the increasing importance of the user's role in adapting energy consumption profiles, in relation to the changing market, the growing level of environmental awareness and the capacity to interact with smart IT-based systems (Gaspari et alii, 2021; Sirombo et alii, 2021; Völker et alii, 2021). Within this context, the potential of smart digital systems and tools as enabling technologies to facilitate the energy transition clearly emerges (Romero, De Agustin and Tsitsanis, 2018).

Although behavioural changes may result in a modest share of consumption reduction – the relative weight of which, however, increases as the energy performance of the building increases – the expected effects on a large scale are significant. This leads to focus on how boundary conditions may impact on energy poverty which already affects the weakest segments of the population typically settled in social housing (BIPIE, 2014) and scarcely aware of or interested in the effects of their actions on domestic energy consumption, mainly due to a lack of information and direct feedback. Therefore, regardless of the technical re-

sponse and the efficiency of the building, an interesting research field opens up on the potential deriving from the diffusion of personalized information means and devices, such as direct enabling tools, with significant expected impacts on the population exposed to the risk of energy poverty: energy bill reduction achieved through behavioural change and not necessarily through an economic investment in renovation (Caballero and Della Valle, 2021; Hafner et alii, 2019).

Monitoring tools and end-users' response | User behavioural change with relation to domestic

Room	Name of the instrument	Parameter to measure
Living room – kitchen	probe 1	Temperature (C°) and relative humidity
Living room – kitchen	probe 2	CO ₂ (ppm)
Living room – kitchen	probe 3	VOC (ppb)
Living room – kitchen	probe 4	Glazing inwards face temperature
Room 1	probe 5	Temperature and relative humidity
Room 2	probe 6	Temperature and relative humidity
Loggia	probe 7	Outdoor temperature and relative humidity

Tab. 1 | Type and location of probes installed to monitor indoor environmental quality (credit: C. Oberosler, 2022).

energy consumption patterns is, therefore, a topic of growing interest in the scientific literature, with differences of over 40% detected in the consumptions generated by different users in buildings with identical characteristics and features (Delzende et alii, 2017; Levine et alii, 2017). To exploit this potential and progress towards the national energy transition goals, two complementary actions are needed: on the one hand, it is essential to introduce tools capable of promptly and effectively monitoring consumption levels and optimizing the offer accordingly, on the other hand, it is necessary to widen the diffusion of systems enabling the user to evaluate the effects of their behaviour on energy demand easily and reliably.

Several technologies suitable for this purpose are already available on the market, and many trials are underway to improve their effectiveness, especially with relation to user interaction (Darby, 2006; Ehrhardt-Martinez, Donnelly and Laitner, 2010; Joachain and Klopfer, 2014; Serrenho, Zangheri and Bertoldi, 2015). Among them, it is worth mentioning smart meters – which are progressively replacing traditional ones throughout the country – as well as modern thermostats and thermostatic valves and related online/smartphone applications managed by energy suppliers, but also more sophisticated tools able to interact automatically with home automation systems, for example In-Home Display – IHD (Balakrishnan and Geetha, 2021; Gomes et alii, 2022).

Some of these devices allow the user to view data concerning their consumption according to different timeframes (from monthly to immediate) and in some cases to manually or automatically adjust the parameters that affect the internal comfort conditions. Some of them also compare personal data with the average ones of other users with similar characteristics to provide concrete advice and suggestions for saving energy and reducing the environmental impact. Although the interaction with the systems and the type of feedback can strongly influence practices and behaviours, gaining information on their effect on energy consumption is always useful as users often have little awareness of this correlation (Huebner, Cooper and Jones, 2013).

The real challenge, therefore, does not deal so much with the development of new technical tools but rather concerns the large-scale diffusion of these devices, which depends above all on the

understanding of the advantages by the users and their ability to actively interact with them. Thus, to promptly react to the information made available. Today, the unprecedented public investments aimed at supporting the digital and energy transition of the housing stock strongly facilitate the launch of experimental actions and strategic reflections on these issues to possibly create synergies with renovation initiatives which are already underway.

Important contributions such as the Social Green³ project, part of Interreg, or Replicate⁴, funded by H2020, both focused on the study and installation of smart monitoring tools to optimize the energy consumption of buildings and stimulate behavioural change, demonstrate the relevance of this topic. On a national level, ENEA, with DHOMUS⁵, has also developed a platform dedicated to residential users with the aim of making them aware of their energy consumption while guiding them to reduce both consumption and costs. However, the replicability and scalability of such solutions remains the critical issue of the process and needs further investigation.

Scope and objectives | In this context, the paper reports a study aimed at investigating the potential impact of user behaviour on the final residential energy consumption and at outlining possible tools and strategies to maximize the effects on a large scale. The research focuses in particular on the use of digital tools for monitoring and managing the energy demand within public-owned residential buildings, in combination with the periodic maintenance interventions and the recurrent renovation programs led by Azienda Casa.⁶

The study is a follow-up of the InSPIRE⁷ project (Integrated technologies for Smart buildings and PREdictive maintenance), funded by the Emilia-Romagna Region under the umbrella of the European Regional Development Fund (POR FESR 2014-2020) and the Fund for Development and Cohesion (FSC), whose purpose was to integrate enabling technologies and building components for monitoring building energy and structural performances and the indoor quality and comfort of dwellings. The research is also part of a broader collaboration between the Emilia-Romagna Housing Company of Bologna (ACER BO) and the University of Bologna, with the aim of supporting public building managers in developing integrated plans of maintenance and renova-

tion, identifying strategies and technologies to alleviate the socio-economic fragility of tenants.

Methodology | Within the ACER BO building stock, consisting of over 18,000 dwellings distributed over an area of more than 3,700 sq. km, the study focused on the 'Bolognina' district, a neighbourhood of Bologna city with a significant concentration of social housing which makes the site particularly critical both from a socio-economic and energy-environmental point of view (Fig. 5). Firstly, the study led to the definition of a procedure to identify the best energy renovation strategies to be adopted on the vast and differentiated ACER stock, facilitating the Agency in the selection of the most effective interventions on a case-by-case basis, and therefore in the optimization of the scarce financial resources available. The result is a predictive tool able to quickly simulate and compare the effects of different retrofitting actions on the social housing stock, capable of integrating environmental and economic considerations and thus helping managers to select and prioritize interventions more effectively (Vodola et alii, 2022).

On this basis, the second phase of research was developed with the aim to investigate how user behaviour can influence residential energy demand and, additionally, what strategies and tools public building managers can adopt to effectively stimulate consumption reduction and at the same time alleviate the economic burdens on end users. The starting assumption was basically that, although the effects of the user's positive energy behaviour are proportionally more appreciable in high-performance buildings, the role of good energy consumption practices at home can take on more importance today than ever, especially in fragile socio-economic contexts such as those under investigation. The specific objectives of this phase were: a) investigate how users interact and understand the information obtained by the monitoring and regulation tools already available in their accommodation, then assess their effectiveness in stimulating and encouraging good energy consumption practices; b) define the requirements and characteristics of a digital tool to be integrated with such devices to improve its effectiveness.

Consequently, the adopted methodology was structured as follows:

– Phase 1: 1.a) mapping the consistency of the available building stock; 1.b) definition of possible energy renovation strategies; 1.c) application of the tool and prioritization of interventions on buildings owned by ACER BO;

– Phase 2: 2.a) identification of the case-study buildings within the ACER BO stock – to be adopted as pilots; 2.b) development of a questionnaire for the users; 2.c) installation of a set of monitoring tools regarding the environmental quality of the accommodation, whose effects and interaction effectiveness with users were investigated through data cross-analysis and compared with the results of the questionnaires; 2.d) data processing and elaboration; 2.e) definition of strategies to integrate new devices into the accommodation to support the user understanding of the system functioning and, in its more efficient regulation, the adoption of good energy consumption practices; 2.f) development of a tool to be installed in the pilot buildings; 2.g) assumptions and feasibility as-

assessment, refining and integrating the monitoring campaign with the outcomes of the questionnaire in order to launch it on a larger scale. The following section of the paper presents and discusses the results of phase 2 first activities.

Operative stages | The first phase 2 activity concerned the analysis of the functionalities and of the potential of the tools installed by ACER Bologna within its own testing program, which led to the installation in pilot dwellings of: manually programmable thermostats for temperature regulation in winter; manually activated blind systems; mechanical ventilation systems with on/off controls. To investigate how users interact with the devices, as well as the perceived effects on the environmental quality of the accommodation, an anonymous multiple-choice questionnaire was developed (activity 2.b Fig. 6). Questions were prepared considering the heterogeneous level of understanding and the background education of the specific user typology⁸, preferring a simple and direct language with a planned completion time of no more than ten minutes.

In order to frame the users' responses according to the actual environmental conditions, a monitoring campaign was, therefore, launched both at the level of buildings and individual dwellings. At the building scale, all the data relating to energy consumption were collected daily and thermographic surveys were carried out to assess any dispersions and thermal bridges that might affect the volume. In the individual dwellings, probes, distributed as in Table 1, were installed for detecting temperature, humidity, CO₂ and Volatile Organic Compounds – VOCs (activity 2.c). At the same time, the questionnaire was delivered to the residents.

Subsequently, data from the questionnaire and the monitoring of consumption and indoor air quality were collected and interpreted. On this basis, the research program proceeded with the definition of the adjustments and the methods of interaction between the user and the available devices, as well as with the integration of the functionalities expected to lead to an effective reduction in consumption and related bills (activity 2.d, still in progress). Meanwhile, the availability on the market of adequate devices for this purpose was assessed. Their characteristics and potential were investigated with a preference for low-cost solutions which were easy to integrate into the standard systems of the national social housing stock.

This enabled the definition of the characteristics of the best possible tool that ACER could integrate in its dwellings for its requirements, and to create a sort of 'blueprint' aimed at stimulating the exchange of information and data between the system and the user, to be refined after a second survey campaign among residents is launched. Before replicating the process, the outcome of the first round is assessed according to the following questions: are the basic requirements of the tools met? How can the tools facilitate an effective exchange of information between the system and the user? With what data, in what formats and with what communication methods can the information be made understandable to non-technical users with low levels of education? How can the user be encouraged to act with relation to the obtained

information (i.e., by adjusting the thermostat or changing a certain consumption practice)?

Testing and results discussion | This first phase of the research involved two properties owned by ACER Bologna, selected from those recently renovated, where the effects of behavioural change on the final energy demand of the housing could be more easily observed (Figg. 7, 8). The two buildings are part of the real estate complex located in via Albani in Bologna, in the Bolognina area, and include 64 apartments varying between 30 and 80 square meters, with garages and some social services for youngsters on the ground floor (Fig. 9). The spaces were equipped with a radiant floor heating system and thermostats to adjust the temperatures in each room. A chrono-thermostat was installed upstream of the manifold of each unit to let the end-users switch the system on/off according to their preferences. The system was completed with a mechanical ventilation unit with heat recovery, serving all the spaces. Furthermore, a solar thermal system was installed on the roof to integrate the production of domestic hot water. After the renovation, completed in 2020, the buildings achieved the CasaClima Class A certification corresponding to an energy requirement of approximately 26 kWh/m² per year.

When the dwellings were assigned to the tenants, ACER provided a brief instruction manual containing the essential information about the systems use. An in-person training session was also promoted to provide tenants with information about the technologies adopted in the construction process, the contents of the experimentation, the methods for running the accommodation and related systems. Between February 2019 and November 2020, the monitoring campaign on indoor conditions and energy consumption was carried out (Fig. 10). At the same time, a telephone survey was conducted among tenants, to detect the level of satisfaction with the perceived environmental quality and the ease of use and management of the systems. Based on the results of the investigation and instrumental monitoring, a summary report was completed.

Overall, the study highlighted a high user satisfaction, as shown in Figure 11. Regarding the temperature control in winter (Q5, Q13), users expressed a good level of satisfaction with reference to thermal comfort, confirmed by monitoring data and by the thermographic analyses performed on the building envelope. However, some reports indicate a difficulty in regulating the system, due to the discrepancies between the temperature set by the user (set point) and the one – generally higher – recorded and perceived in the room. Regarding thermal comfort in summer (Q6-Q8), users are on average more satisfied than in winter, confirming that they actually use the shielding devices, adjusting them with relation to the levels of incident solar radiation. However, half of the interviewees indicated that they would prefer a smarter and more automatic system for operating the blinds. Furthermore, unsatisfied users reported the need to install a cooling system. In addition, in relation to the quality of the indoor air (Q11, Q12), one-third of the users complained that the ventilation system was annoying, either because of the noise or because of its ineffectiveness in reducing unpleasant smells inside the rooms.

Despite the general level of satisfaction, the comparison between the responses and data monitoring showed quite significant room for improvement. A simulation has indeed highlighted that, lowering the temperature by 2 °C in winter, it would be possible to cut the gas consumption by a half if the system fully complies with this regulation and consequently cut the energy costs for heating by a half. Similar scenarios are also demonstrated with the other environmental parameters. With reference to air quality, the user is not currently able to view data relating to the concentrations of pollutants in the rooms and, indeed, an-



Figg. 7, 8 | Pictures of the buildings assumed as case study (credits: C. Oberosler, 2022).

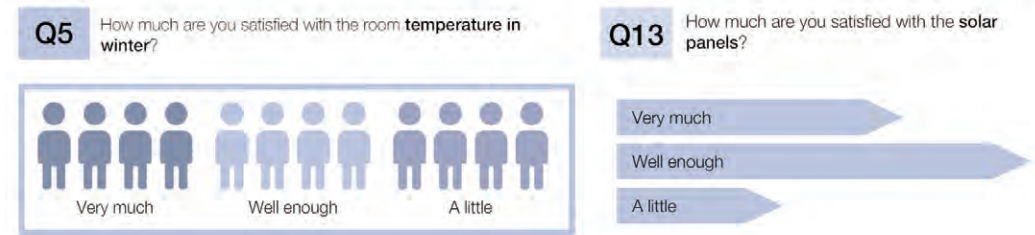


Fig. 9 | Aerial view of the area where the two buildings are located (credit: C. Oberosler, 2022).

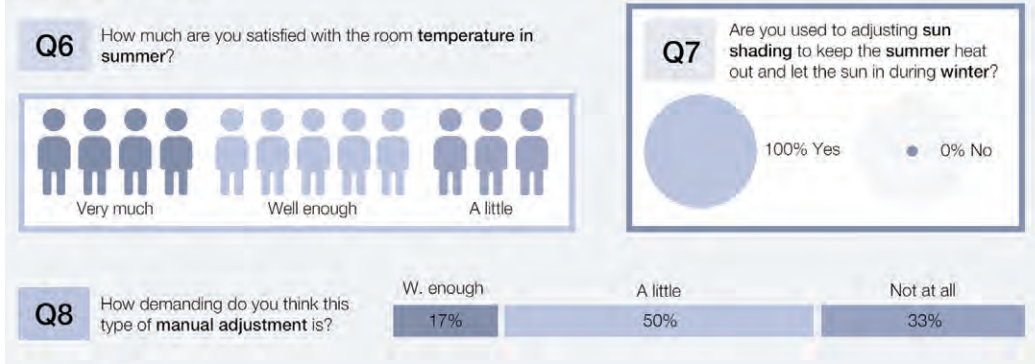
Fig. 10 | Plan of the typical flat and placement of monitoring tools (credit: C. Oberosler, 2022).



Winter conditions



Summer conditions



Indoor air quality

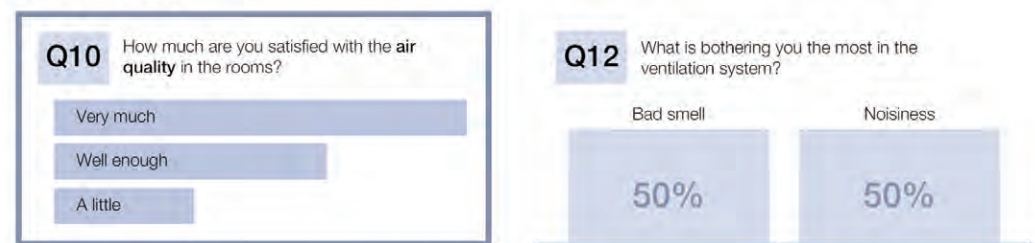


Fig. 11 | Visual synthesis of the survey results (credit: C. Oberosler, 2022).

noyed by the noise of the mechanical ventilation system, tends to switch off the system, consequently causing an increase in these values.

It can be deduced that the user could easily have implemented some adjustments if only she/he had received some advice, thus achieving

the desired interaction between real data, energy-saving system regulation and good, responsible, aware user management of the dwelling. It would therefore be possible to significantly reduce the energy demand by suggesting appropriate adjustments to users by means of alert messages

on mobile devices or on displays – whose characteristics are however still to be defined – installed in the apartments.

The activities carried out so far have highlighted some critical issues to consider in view of the large-scale replication phase. Even though the questionnaire was designed to give immediate feedback to the user regarding the energy management practices of the accommodation, some resistance from inhabitants emerged in participating, fuelled by suspicion about the intentions of the manager, as well as by the difficulty in finding a direct link between the questions and the possible actions on the system, and the language barrier for foreign users. Therefore, the text of the survey to be adjusted for the replication phase will have to be shorter, multilingual (considering the origins of the inhabitants) and based on the concrete savings achievable by implementing the actions on which users are consulted.

Further developments and final reflections |

This paper describes the first outcomes of a testing programme aimed at analysing how smart metering tools and the regulation of environmental parameters can help housing energy transition, allowing both end users and utility companies to accordingly adapt their demand and their offer. The research aims to raise awareness among the scientific community of the role assigned to end users in estimating potential energy savings, as well as to understand the potential effects regarding energy poverty at the political level.

The originality of the study lies therefore in addressing the crucial issue of reducing building energy demand by focusing not so much on the smart devices available on the market, technically consolidated and validated, but rather on the behavioural response capacity of the individual user. The study assumes that a deep understanding of the advantages of using these smart tools by the tenants is a fundamental requirement for their diffusion and concrete effectiveness, investigating how they can be spread on a large scale. Furthermore, the research questions another fundamental and extremely topical issue, namely how the appropriately informed user can contribute to lim-

iting the dwelling's energy demand without reducing the comfort level.

These issues are particularly relevant considering the increase of the energy bill expected for the next few months, but also for a more general attention to contrast climate change and to ensure people's well-being. In addition, the deployment of smart monitoring tools could also help energy suppliers to set up innovative flexible demand-response programs, tailored to each building or district, to be effectively combined with the deployment of local energy production systems from renewable sources.

Acknowledgements

The paper is the result of a common reflection of the authors. Thanks to AIRIS S.r.l. – Environmental Engineering, Bologna, for instrumental monitoring that supported the interpretation of the data collected through user questionnaires.

Notes

- 1) For further details, visit the webpage: governo.it/sites/governo.it/files/PNRR.pdf [Accessed 29 September 2022].
- 2) Data refer to the energy footprint of a 4-members family unit, hosted in a dwelling belonging to climatic zone E (which includes 47% of permanently occupied dwellings in Italy) that uses natural gas for heating, hot water and cooking, and has a private car with a total yearly mileage of about 15,000 km.
- 3) For further details on Social Green, visit the webpage: interregeurope.eu/good-practices/improving-energy-efficiency-and-consumer-behavior-in-social-housing-in-alba-iulia-municipality [Accessed 09 October 2022].
- 4) For further details on REPLICATE, visit the webpage: replicate-project.eu/ [Accessed 09 October 2022].
- 5) For further details on DHOMUS, visit the webpage: dhomus.smartenergycommunity.enea.it/ [Accessed 09 October 2022].
- 6) Azienda Casa is the current name of the public-owned housing management bodies in Italy.
- 7) For further details on InSPIRE, visit the webpage: inspire-project.it/ [Accessed 29 September 2022].
- 8) These are subjects between 24 and 65 years old, with a primary education level; the gender balance is about 60% women and 40% men.

References

BPIE (2014), *Alleviating fuel poverty in the EU – Investing in home renovation, a sustainable and inclusive solution*, BPIE, Brussels. [Online] Available at: bpie.eu/wp-content/uploads/2015/10/Alleviating-fuel-poverty.pdf [Accessed 29 September 2022].

Balakrishnan, R. and Geetha, V. (2021), “Review on home energy management system”, in *Materials Today – Proceedings*, vol. 47, part 1, pp. 144-150. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.matpr.2021.04.029 [Accessed 29 September 2022].

Caballero, N. and Della Valle, N. (2021), “Tackling Energy Poverty Through Behavioral Change – A Pilot Study on Social Comparison Interventions in Social Housing Districts”, in *Frontiers in Sustainable Cities*, vol. 2, 601095, pp. 1-20. [Online] Available at: doi.org/10.3389/frsc.2020.601095 [Accessed 29 September 2022].

Darby, S. (2006), *The Effectiveness of Feedback on Energy Consumption – A Review for Defra of the Literature on Metering, Billing and Direct Displays*, Environmental Change Institute, University of Oxford, Oxford. [Online]

Although focused on the specific context of social housing, the assumptions and results from this study can be easily transferred to other residential contexts and beyond, favouring a general user-based reduction in energy consumption, to be combined with the great potential for reduction coming from technical interventions on buildings. The testing phase conducted on social housing demonstrates the need to create a greater link between gathered data and user behaviour, but also the great potential that this practice could have, not only in limiting energy poverty but also in promoting the much-desired mind shift, where

Available at: eci.ox.ac.uk/research/energy/downloads/smart-metering-report.pdf [Accessed 29 September 2022].

Delzendeh, E., Wu, S., Lee, A. and Zhou, Y. (2017), “The impact of occupants' behaviours on building energy analysis – A research review”, in *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 80, pp. 1061-1071. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.264 [Accessed 29 September 2022].

Ehrhardt-Martinez, K., Donnelly, K. A. and Laitner, J. A. (2010), *Advanced metering initiatives and residential feedback programs – A meta-review for household electricity-saving opportunities*, report n. E105, American Council for an Energy-Efficient Economy. [Online] Available at: aceee.org/sites/default/files/publications/researchreports/e105.pdf [Accessed 29 September 2022].

European Commission (2022), *Energy consumption in households*. [Online] Available at: ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_consumption_in_households [Accessed 29 September 2022].

Gaspari, J., Antonini, E., Gianfrate, V. and Mehmeti, L. (2022), “Mappare la capacità di risposta ambientale di comunità per affrontare la transizione climatica | Mapping community environmental capacity to support climate responsive transition”, in *Techne | Journal of Technology for Architecture and Environment*, vol. 23, pp. 117-126. [Online] Available at: oaj.fupress.net/index.php/techne/article/view/12135 [Accessed 29 September 2022].

Gaspari, J., Antonini, E., Marchi, L. and Vodola, V. (2021), “Energy transition at home – A survey on the data and practices that lead to a change in household energy behavior”, in *Sustainability*, vol. 13, issue 9, article 5268, pp. 1-24. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su13095268 [Accessed 29 September 2022].

Gomes, I., Bot, K., Ruano, M. G. and Ruano, A. (2022), “Recent Techniques Used in Home Energy Management Systems – A Review”, in *Energies*, vol. 15, issue 8, 2866, pp. 1-41. [Online] Available at: doi.org/10.3390/en15082866 [Accessed 29 September 2022].

Hafner, R. J., Pahl, S., Jones, R. V. and Fuertes, A. (2020), “Energy use in social housing residents in the UK and recommendations for developing energy behaviour change interventions”, in *Journal of Cleaner Production*, vol. 251, 119643, pp. 1-12. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119643 [Accessed 29 September 2022].

Huebner, G. M., Cooper, J. and Jones, K. (2013), “Domestic energy consumption – What role do comfort, habit, and knowledge about the heating system play?”, in *Energy and Buildings*, vol. 66, pp. 626-636. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.07.043 [Accessed 29 September 2022].

IEA (2022), *Tracking Buildings 2022*. [Online] Available at: iea.org/reports/buildings [Accessed 29 September 2022].

Joachain, H. and Klopfer, F. (2014), “Smarter than metering? Coupling smart meters and complementary currencies to reinforce the motivation of households for energy

a virtuous behaviour is no longer the consequence of an economic need (reducing the bill), but becomes the distinctive feature of a new and more aware user typology. A possible development of the study consists therefore in modifying the questionnaire according to its replicability on a large scale in the ordinary market, which in the current circumstances is affected by the energy issue regardless of social class.

savings”, in *Ecological Economics*, vol. 105, pp. 89-96. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.05.017 [Accessed 29 September 2022].

Levine, M., Urge-Vorsatz, D., Blok, K., Geng, L., Harvey, D., Lang, S., Levermore, G., Mongameli Mehlwana, A., Mirasgedis, S., Novikova, A., Rilling, J. and Yoshin, H. (2007), “Residential and commercial buildings”, in Metz, B., Davidson, O., Bosch, P., Dave, R. and Meyer, L. (eds), *Climate Change 2007 – Mitigation*, Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, pp. 387-446. [Online] Available at: doi.org/10.1017/CBO9780511546013 [Accessed 29 September 2022].

Ministero della Transizione Ecologica (2022), *La Situazione Energetica Nazionale nel 2021*. [Online] Available at: dgsaie.mise.gov.it/pub/sen/relazioni/relazione_annuale_situazione_energetica_nazionale_dati_2021.pdf [Accessed 29 September 2022].

Romero, A., De Agustin, P. and Tsitsanis, T. (2018), “Integration of Real-Intelligence in Energy Management Systems to Enable Holistic Demand Response Optimization in Buildings and Districts”, in *Proceedings – 2018 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2018 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe*, 12-15 June 2018, Palermo, IEEEIC/I and CPS Europe, 768614, pp. 1-6. [Online] Available at: doi.org/10.1109/IEEEIC.2018.8494522 [Accessed 29 September 2022].

Serrenho, T., Zangheri, P. and Bertoldi, P. (2015), *Energy Feedback Systems – Evaluation of meta-studies on energy savings through feedback – Energy Efficiency Directive Articles 9-11 on feedback, billing and consumer information*, Publications Office of the European Union, Luxembourg. [Online] Available at: doi.org/10.2790/565532 [Accessed 29 September 2022].

Siroambo, E., Filippi, M., Catalano, A. and Sica, A. (2017), “Building monitoring system in a large social housing intervention in Northern Italy”, in *Energy Procedia*, vol. 140, pp. 386-397. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.egypro.2017.11.151 [Accessed 29 September 2022].

Vodola, V., Antonini, E., Gaspari, J. and Marchi, L. (2022), “A Methodology for Fast Simulation of Energy Retrofitting Scenarios of Social Building Stock”, in Littlewood, J. R., Howlett, R. J. and Jain, L. C. (eds), *Sustainability in Energy and Buildings 2021*, Springer, pp. 147-157. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-981-16-6269-0_13 [Accessed 29 September 2022].

Völker, B., Reinhardt, A., Faustine, A. and Pereira, L. (2021), “Watt's up at Home? Smart Meter Data Analytics from a Consumer-Centric Perspective”, in *Energies*, vol. 14, issue 3, article 719, pp. 1-21. [Online] Available at: doi.org/10.3390/en14030719 [Accessed 29 September 2022].

RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA DELL'EDILIZIA ESISTENTE

Modellazione e gestione geometrico-informativa

ENERGY RETROFITTING OF EXISTING BUILDINGS

Geometric-informative modelling and management

Giovanna A. Massari, Ambra Barbini, Elena Bernardini,
Oscar Roman

ABSTRACT

Nel 2017 la società Fanti Legnami Srl avvia il programma di ricerca Renew-Wall, riguardante un sistema di pannelli prefabbricati con telaio in legno per la riqualificazione energetica di edifici esistenti. Per gestire la complessità dell'intero sistema è stata sviluppata una soluzione digitale integrata a supporto di tutto il flusso di lavoro, dalle fasi di progettazione a quelle di produzione, i cui requisiti sono la facilità di modellazione geometrica e informativa in fase di progetto, la replicabilità e adattabilità a diverse configurazioni e la trasferibilità delle informazioni utili per la produzione al sistema CAD-CAM. Il contributo intende illustrare il processo di creazione di una libreria di oggetti BIM, come elemento chiave della soluzione digitale integrata proposta per la gestione del sistema Renew-Wall, descrivendo le procedure di implementazione e di verifica adottate.

In 2017 the company Fanti Legnami Srl launched the Renew-Wall research programme concerning a system of prefabricated timber-framed panels for energy performance improvement in existing buildings. In order to manage the complexity of the entire system, an integrated digital solution was developed to support the entire workflow, from design to production. The requirements of the digital solution are the ease of geometric and informative modelling in the design phase, the replicability and adaptability to different configurations and the transferability of information needed for production to the CAD-CAM system. This paper is aimed at illustrating the process of creating a library of BIM objects, as a key element of the integrated digital solution proposed for the management of the Renew-Wall system, describing the implementation and assessment of the procedures adopted.

KEYWORDS

libreria di oggetti BIM, pannelli prefabbricati in legno, processo CAD/CAM, retrofit energetico, tecniche di rappresentazione 3D

BIM object library, timber prefabricated panels, CAD/CAM process, energy retrofitting, 3D representation techniques

Giovanna A. Massari, Associate Professor of Drawing at the University of Trento (Italy), is the Scientific Director of the LAMARC research group and Editorial Director of the XYdigitale project, started in 2015 with Roberto de Rubertis. Mob. +39 338/917.92.18 | E-mail: giovanna.massari@unitn.it

Ambra Barbini, PhD Candidate at the University of Trento (Italy), carries out research on built heritage interface models and the shared use of multidisciplinary data. Mob. +39 393/034.44.49 | E-mail: ambra.barbini@unitn.it

Elena Bernardini is a Research Fellow at the University of Trento (Italy) and carries out research on the relationship between cultural heritage and multimedia communication tools. Mob. +39 333/317.16.28 | E-mail: elena.bernardini@unitn.it

Oscar Roman, after graduating in Building Engineering-Architecture at the University of Trento (Italy) with a thesis on HBIM digital environment applied to the seismic analysis, participated in a LAMARC research project on energy retrofit of the built environment. Mob. +39 342/505.89.96 | E-mail: oscar.roman.work@gmail.com



La riqualificazione energetica di un edificio esistente, ovvero l'ottimizzazione dello scambio di flussi energetici tra ambiente interno ed esterno, può essere raggiunta grazie a un insieme di interventi tecnologici, strategici e gestionali, che generalmente si concretizza attraverso il miglioramento delle prestazioni dell'involucro e del sistema di impianti. Tra le diverse possibili soluzioni tecnologiche per migliorare le caratteristiche termiche dell'involucro edilizio, il modello Energiesprong¹ (Wiik, 2020) propone la realizzazione di un rivestimento modulare tramite pannelli prefabbricati con telaio in legno, comprensivi di uno strato isolante e di serramenti a elevata efficienza energetica, che consentono di integrare del tutto o in parte un nuovo sistema impiantistico, oltre che di personalizzare l'intervento con diverse finiture esterne.

Con l'obiettivo di proporre sia una specifica tipologia di pannello prefabbricato sia un flusso di lavoro integrato a supporto dell'intero processo di riqualificazione energetica, nel 2017 la società Fanti Legnami Srl (Val di Non, TN) intraprende il programma di ricerca Renew-Wall². Grazie al supporto economico di un finanziamento provinciale e al coinvolgimento di Istituti di ricerca, professionisti e tecnici esperti, il progetto ha portato alla definizione di un sistema modulare di pannelli prefabbricati con telaio in legno, progettato, prototipato e testato dal punto di vista tecnico-economico, produttivo ed esecutivo, ma anche dal punto di vista delle prestazioni, della sostenibilità e della sicurezza (Fig. 1).

Le tipologie di pannello sono quattro, variamente combinabili tra loro per il rivestimento degli edifici: Full, Window, Door e Corner (Fig. 2). Il pannello Full è completamente opaco e può essere utilizzato quando le pareti non presentano fori sulla superficie. Il pannello Window è dotato di un foro, predisposto per l'inserimento di un serramento finestra monoblocco, a cui possono essere integrati sia un sistema oscurante che un dispositivo per la ventilazione meccanica controllata (VMC), il cui spessore rientra integralmente all'interno del pannello. Il pannello Door presenta un analogo foro, predisposto per l'alloggiamento di porte esterne, quali portoncini di ingresso o porte-finestre per l'accesso a giardini, balconi, logge o terrazze. Infine, il pannello Corner è costituito dalla combinazione di due pannelli Full, adeguatamente assemblati per completare il rivestimento dell'edificio sugli spigoli, garantendo contestualmente una finitura esterna senza soluzione di continuità e un efficace isolamento termico (Tab. 1).

Ogni pannello è composto da una struttura interna in legno, tre strati di isolamento termico e specifici dettagli strutturali e tecnologici. Il sistema Renew-Wall, personalizzabile con diverse texture e materiali di finitura, è adattabile a varie tipologie di edifici, ma risulta particolarmente indicato per la riqualificazione energetica di edifici residenziali localizzati in centri urbani o periurbani e non contraddistinti da particolare pregio storico o architettonico, ma al contrario riqualificabili anche da un punto di vista estetico (Fig. 3).

Obiettivi e finalità della ricerca: riqualificazione energetica e gestione digitale | Negli ultimi anni il problema della riqualificazione energetica dell'esistente è al centro di numerose ricerche. La possibilità di adottare soluzioni prefabbricate è

stata oggetto di numerosi studi anche recenti e non mancano esperienze interessanti distribuite sul territorio europeo (Lattke et alii, 2009; Malacarne et alii, 2016; Noris et alii, 2017; Garay Martinez, Benito Ayucar and Arregi Goikole, 2017; Permetti, Pinotti and Lollini, 2021). In questo ambito la ricerca, oltre a trovare soluzioni tecnicamente innovative, si focalizza sempre maggiormente sui possibili metodi per la gestione degli interventi in modo che diventino non solo energeticamente efficienti ma anche economicamente sostenibili; in particolare, la produzione di elementi modulari in stabilimento, che presenta indubbi vantaggi dal punto di vista della cantierizzazione, rappresenta solo in parte una soluzione, da integrare nell'intero processo della riqualificazione.

Diversi studi individuano nella gestione digitale del progetto un possibile approccio per garantire un controllo ottimale sugli interventi, in quanto essa consente potenzialmente di stimare con maggiore accuratezza tempi e costi dell'intervento, di calcolare la riduzione dei consumi energetici attesa e il periodo di recupero dell'investimento, tenendo conto dei costi per la manutenzione.

Si individuano diverse possibili strategie di gestione digitale che interessano per lo più le fasi progettuali in senso stretto e consistono nella realizzazione di librerie di oggetti per l'adeguamento energetico dell'involucro e nel loro utilizzo per la simulazione progettuale in ambiente BIM³ (Maserà, Iannaccone and Salvalai, 2014; Salvalai, Sesana and Iannaccone, 2017; Luce, 2019; Maiolatesi, 2019). A partire da analoghe considerazioni molte ricerche sono orientate a definire integralmente il flusso di lavoro, coinvolgendo tutti gli attori della riqualificazione, tecnici e non. In questo caso la gestione digitale è sfruttata per la condivisione di dati e modelli parametrico-informativi, nel tentativo di abbattere le barriere all'interoperabilità. Questi studi sono maggiormente incentrati sull'implementazione di applicazioni web e strumenti BIM-based⁴ (Mediavilla et alii, 2018; Elagiry et alii, 2019; Valra et alii, 2021; Daniotti et alii, 2022).

Rispetto agli studi sopra citati il contributo del progetto Renew-Wall è orientato al trasferimento di efficienti pratiche sperimentali alle realtà d'impresa locali, con l'obiettivo di renderle operativamente indipendenti nell'affrontare problemi di riqualificazione. Per questo motivo si è scelto di concentrarsi su questioni correlate alla gestione digitale e alla trasmissione delle informazioni in un ambito circoscritto, mirato a perfezionare l'interazione tra progettisti e produttori. A tal fine è stato adottato un approccio applicativo anche nelle fasi metodologiche della ricerca, caratterizzato dal confronto costante con l'ufficio tecnico di Fanti per individuare risposte a problemi pratici che generalmente non emergono in campo teorico.

Per gestire la complessità dell'intero sistema, mantenendo alcune caratteristiche del pannello fisse e altre personalizzabili così come previsto dal sistema Renew-Wall, il gruppo di ricerca ha optato per lo sviluppo di una soluzione digitale integrata a supporto dell'intero flusso di lavoro, dalla fase di progettazione a quella di produzione. In particolare l'obiettivo è quello di gestire digitalmente tre fasi fondamentali del processo di riqualificazione energetica: la definizione di un preventivo preliminare affidabile in tempi brevi, la progettazione del nuovo rivestimento tramite i pannelli Renew-Wall e la comunicazione dei dati di pro-

getto all'impianto di produzione. A supporto di queste fasi si è scelto di creare una libreria di oggetti BIM, sviluppata ad hoc per supportare processi di progettazione e produzione di componenti edilizi standardizzati. La ricerca presentata in questo contributo si articola in quattro fasi: 1) analisi delle esigenze connesse alla gestione digitale; 2) confronto di quattro possibili strategie di modellazione (test preliminari); 3) creazione della libreria e definizione del flusso di lavoro; 4) validazione della soluzione individuata.

Gestione digitale in ambiente BIM: analisi delle esigenze

Data la possibilità offerta dall'ambiente BIM di modellare e gestire dati progettuali dettagliati sia alla scala dei componenti che a quella dell'edificio, è stata sviluppata una libreria di oggetti parametrici, confrontando quattro possibili strategie di modellazione. Il confronto è stato effettuato a partire da un'analisi delle esigenze e degli obiettivi connessi alla gestione digitale e verificando, a chiusura della ricerca, la corrispondenza della soluzione implementata con gli obiettivi prefissati, tramite un'applicazione sperimentale.

La soluzione individuata consiste nella rappresentazione, in ambiente digitale, delle quattro tipologie di pannello Renew-Wall, parametricamente adattabili a diverse configurazioni progettuali. La creazione di modelli parametrici consente infatti di garantire una gestione ottimale delle peculiarità di ciascun edificio esistente, tenendo conto delle preferenze della committenza, senza perdere di vista le caratteristiche tecniche e di fattibilità del pannello e dell'intervento di riqualificazione energetica nel suo complesso; oltre alla libreria è stato definito un flusso di lavoro agevolmente assimilabile dall'azienda.

La libreria digitale, infatti, ha l'obiettivo di supportare l'ufficio tecnico nella maggior parte delle fasi che lo coinvolgono: quella di progetto, dal preliminare all'esecutivo, per quanto riguarda la stima dei costi e la produzione degli elaborati grafici; quella di produzione, grazie alla possibilità di condividere le informazioni di progetto con l'unità produttiva che gestisce i processi di taglio e assemblaggio con macchine a controllo numerico. Pertanto, nel confronto delle diverse strategie di modellazione per la creazione della libreria si è tenuto conto delle seguenti esigenze: 1) facilità di modellazione in fase di progetto; 2) replicabilità e adattabilità degli oggetti BIM a diverse configurazioni progettuali; 3) trasferibilità delle informazioni utili per la produzione al software CAD-CAM in uso nello stabilimento produttivo.

Una volta chiarite le esigenze è stato necessario mediare tra le possibili modalità di strutturazione dei dati in ambiente BIM e i requisiti previsti per la libreria BIM: semplicità di utilizzo, replicabilità, flessibilità, modularità e compatibilità con l'applicativo 3D CAD-CAM Dietrich's usato per la trasmissione delle informazioni alle macchine a controllo numerico che producono i componenti in legno. Le esigenze analizzate sono state quindi tradotte in parametri per il confronto di diverse strategie di modellazione, come illustrato in Figura 4.

Modellazione parametrica del pannello: strategie a confronto

Per la creazione della libreria si è scelto di utilizzare la versione 2021 del software di BIM authoring Autodesk Revit che consente di modellare nel dettaglio le geometrie di ciascun

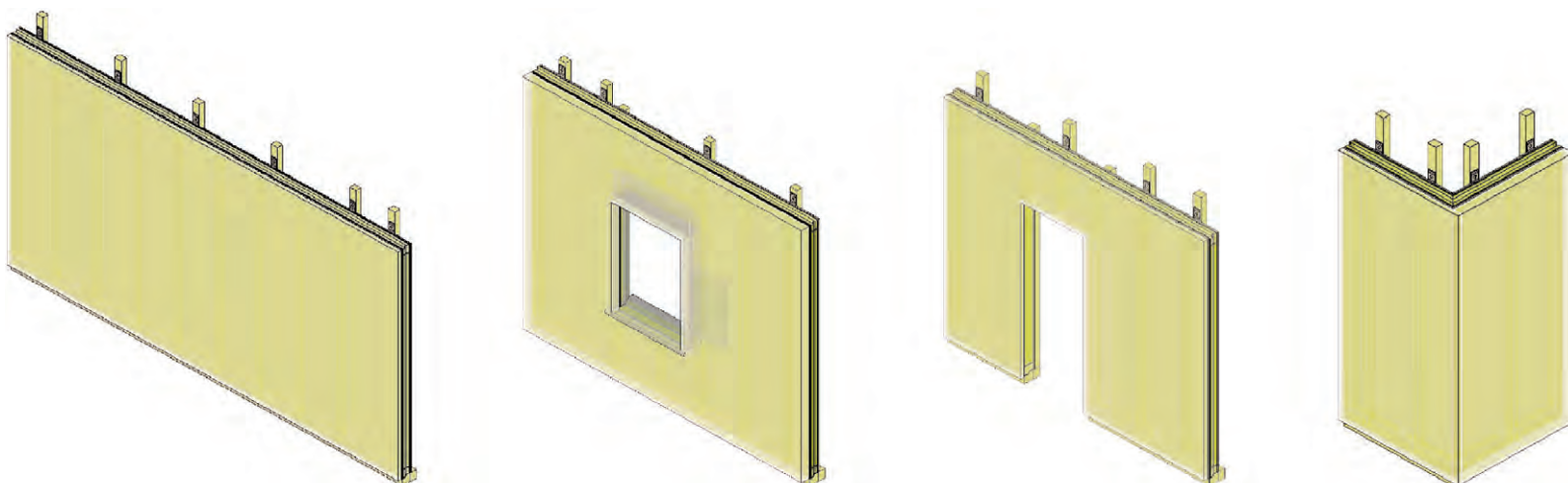


Fig. 1 | Test on Renew-Wall panels in different phases: Wind resistance test; Assessment of installation and anchoring systems; Cladding simulation and monitoring on Test Cell (credit: University of Trento, DICAM, LAMARC, the Authors, 2021).

Fig. 2 | The four-panel types of the Renew-Wall system (credit: University of Trento, DICAM, LAMARC, the Authors, 2021).

pannello, così come di associare ai singoli componenti del modello 3D ulteriori dati informativi (prezzi per la redazione dei preventivi, peso specifico dei materiali per le valutazioni sul trasporto e l'installazione, ecc.) e regole relative a dimensioni minime e massime, interassi e quantità dei singoli componenti. Tali regole risultano fondamentali sia per rendere i modelli parametricamente adattabili a diverse configurazioni sia per evidenziare quando una particolare modifica non è compatibile con la fattibilità tecnica del pannello.

Il software BIM Autodesk Revit consente di raggruppare componenti edilizi (Muro, Finestra, Scala, ecc.) e/o componenti per la definizione del progetto (Vano, Parcheggio, Contesto, ecc.) all'interno di specifiche Categorie, ovvero etichette che aiutano a classificare elementi accomunati da funzioni specifiche. Ogni Categoria presenta infatti dei caratteri peculiari che ne influenzano il comportamento all'interno dell'ambiente di lavoro. Per individuare la soluzione in grado di rispondere al meglio alle esigenze precedentemente analizzate, è stata modellata, a titolo esemplificativo, la tipologia di pannello Full, confrontando le seguenti Categorie: Muro, Modello generico, Facciata continua e Modello generico basato su linea (Fig. 5). Di seguito vengono motivate e presentate le quat-

tro strategie di modellazione testate. Segue un commento specifico dedicato alla possibilità di trasmettere i dati di progetto dall'ambiente BIM a Dietrich's, software 3D CAD-CAM in uso presso Fanti Legnami, e infine il confronto tra le quattro soluzioni testate.

Test 1: Categoria Muro | Questa soluzione è stata testata perché rappresenta l'opzione che più si avvicina alla reale funzione del pannello, ovvero un elemento di chiusura verticale esterna. La Categoria Muro, inoltre, consente la definizione della lunghezza semplicemente indicando i due punti estremi in pianta, mentre l'altezza va definita tramite un apposito parametro. Diversamente dalle altre soluzioni testate, la creazione del modello avviene all'interno di un file di progetto (.rvt), e non all'interno di una Famiglia di Revit (formato .rfa), in quanto la Categoria Muro consente solo di personalizzare le informazioni sui vari strati di un pacchetto murario tramite un'apposita finestra di dialogo. Attraverso il comando 'dividi superficie' è stato possibile gestire e modificare separatamente i singoli strati del pannello, modellando anche la struttura interna del telaio, formata da montanti e traversi; tuttavia queste personalizzazioni non sono replicabili, in quanto non possono essere

salvate o copiate: anche duplicando il pannello modellato, verrà riprodotta solo la stratigrafia originale senza le modifiche puntuali effettuate sui singoli strati.

Test 2: Categoria Modello generico | La Categoria Modello generico è la categoria più flessibile per la creazione di un componente edilizio tramite l'editor Famiglie di Revit; in questo caso, la modellazione avviene all'interno di un file Famiglia (.rfa), che può essere caricato e replicato in qualsiasi progetto Revit. Questa Categoria consente ampie possibilità di personalizzazione e parametrizzazione di tutti i componenti del pannello; tuttavia, a differenza della Categoria Muro, richiede la definizione di almeno due parametri (altezza e lunghezza) per ogni pannello.

Test 3: Categoria Facciata continua | Un'altra soluzione testata prevede di associare l'intero rivestimento modulare alla Categoria Facciata continua, che analogamente alla Categoria Muro viene gestita solo tramite file di progetto (.rvt). Questa Categoria è pensata per la modellazione di pareti costituite da pannelli opachi e/o trasparenti inseriti all'interno di una griglia generalmente definita tramite una vista di prospetto. In questo caso le ca-

ratteristiche geometriche e alfanumeriche del pannello vengono modellate tramite l'editor Famiglie all'interno della Categoria Pannello di Facciata continua. Per il posizionamento dei pannelli così modellati all'interno di un file di progetto è necessario definire preliminarmente una griglia di costruzione sul prospetto da rivestire e anche in questo caso bisogna definire i parametri di altezza e di lunghezza prima per la griglia e poi per ogni pannello.

Test 4: Categoria Modello generico basato su linea | Questa soluzione combina la flessibilità del Modello generico con la semplicità di utilizzo della Categoria Muro. Come per la Categoria Modello Generico la modellazione avviene tramite l'editor Famiglie e il posizionamento è agevolato dalla possibilità di sfruttare i comandi per il tracciamento di un Muro in Revit: l'individuazione dei due estremi della lunghezza, la selezione diretta della linea esterna del muro esistente o l'allineamento automatico. In questo caso è sufficiente definire solo l'altezza di ciascun pannello, in quanto la lunghezza è definita tramite il posizionamento.

Interoperabilità CAD-CAM | Per ognuna delle strategie di modellazione sviluppate è stata verificata l'interoperabilità BIM-CAM, utilizzando il formato di interscambio IFC per trasmettere i dati modellati al software Dietrich's, in grado di esportare file leggibili dalle macchine CNC per la realizzazione dei componenti in legno. Per ciascuno dei test effettuati l'importazione in Dietrich's ha messo in luce che: il modello è visibile integralmente e vengono riconosciute tanto la geometria dei singoli elementi, quanto le loro dimensioni; il trasferimento dei dati materici (legno di larice/abete, acciaio) avviene correttamente (Fig. 6); l'importazione del pannello modellato utilizzando la Categoria Muro permette di modificare direttamente il file IFC all'interno dell'ambiente Dietrich's. Quest'ultimo aspetto, pur non essendo vincolante per la produzione, può agevolare le operazioni di revisione dei modelli e la predisposizione dei file per le macchine CNC.

Modellazione parametrica del pannello: strategia selezionata | La Tabella 2 riporta il confronto tra le varie strategie di modellazione del pannello Renew-Wall testate in base ai seguenti criteri di valutazione: parametri fondamentali, ovvero numero di parametri dimensionali da impostare per ciascun pannello; rapidità di modellazione, ovvero possibilità di ottimizzare i tempi di modellazione necessari sia per l'inserimento del pannello sia per la creazione dell'intero rivestimento modulare; replicabilità, ovvero possibilità di utilizzare il pannello BIM in progetti diversi; flessibilità parametrica, ovvero semplicità nell'adeguamento del pannello a diverse configurazioni dimensionali; compatibilità con Dietrich's, ovvero completezza nella trasmissione dei dati di progetto definiti nell'applicativo Revit.

Stante il fatto che la Categoria Muro è stata esclusa in quanto non replicabile e che la compatibilità con Dietrich's risulta equivalente tra le altre tre strategie di modellazione testate, la scelta è ricaduta sulla soluzione che consente di minimizzare il numero di parametri dimensionali da definire per ciascun pannello e di ottimizzare complessivamente i tempi di modellazione, oltre a offrire una maggiore flessibilità parametrica. La strategia di modellazione selezionata per la gestione digitale del sistema Renew-Wall è quindi quella che si basa sull'impiego della Categoria Revit di Modello generico basato su linea.

Creazione della libreria e definizione del flusso di lavoro | Una volta individuata la migliore strategia di gestione digitale del pannello Renew-Wall in ambiente Revit, è stata sviluppata l'intera libreria BIM, creando dei modelli parametrici per ciascuna tipologia di pannello. Per lo sviluppo della libreria BIM, sono stati raccolti ed esaminati tutti gli esiti della fase di progettazione e prototipazione del sistema Renew-Wall, considerando sia gli elaborati grafici sia i metodi di produzione in uso presso l'azienda; è stata quindi stilata una lista completa dei componenti necessari all'assemblaggio delle diverse tipologie di pannello, comprendente le rispettive caratteristiche sia geome-

triche che parametriche, fondamentali per la modellazione in ambiente digitale. Ciascun componente è stato quindi modellato a partire dai disegni di progetto, rispettando tanto le regole dimensionali, quanto le caratteristiche geometriche definite durante la fase di prototipazione.

La libreria è stata organizzata in base alle caratteristiche variabili dei pannelli: tipologia di pannello (Full, Window, Corner e Door); connessione dei pannelli all'edificio esistente (soluzione per edifici in muratura o a telaio in c.a.); finitura esterna (con intonaco o facciata ventilata). I vari componenti sono stati modellati separatamente in apposite Famiglie di Revit, afferenti a specifiche Categorie del software (Tab. 3). Per ciascun elemento sono stati creati dei parametri peculiari (di carattere dimensionale, materico, di visibilità, ecc.), i quali sono stati successivamente collegati ai parametri di gestione generale del pannello. Per poter applicare questo metodo è stata dapprima creata una Famiglia host di Revit appartenente alla Categoria Modello generico basato su linea, la quale contiene una griglia parametrica, formata da Linee e Piani di riferimento, che stanno alla base della struttura e del comportamento del pannello.

I Piani e le Linee di riferimento sono gestiti dal software sia attraverso parametri lineari, definiti dalle quote posizionate tra i piani di riferimento, sia attraverso parametri basati su formule matematiche, che consentono l'adattamento dimensionale ma anche il posizionamento di componenti in serie, quali ad esempio i montanti disposti a intervalli fissi in numero variabile in base alla lunghezza del pannello (Fig. 7). I vari componenti (come i montanti, i traversi, i pannelli OSB e DWD) sono stati poi nidificati all'interno della Famiglia host attraverso la definizione di vincoli di allineamento alla griglia e i loro parametri di istanza collegati ai parametri generali del pannello. In caso di una successiva modifica delle caratteristiche degli elementi base del pannello, la struttura nidificata della famiglia in Revit consente l'aggiornamento automatico nel pannello finale, evitando di dover ripetere tutte le operazioni di modellazione altrimenti conseguenti a modifiche locali (Fig. 8).

Elements ¹	Thickness [mm]	Dimensions [mm]	Thermal Conductivity (λ) [W/mK]	Volumetric Mass [kg/m ³]	Resistance to steam (μ) [-]	Specific heat capacity [J/kgK]
FIXED PART						
OSB panel	10	625 x 2500 1250 x 2500	0.13	> 600	30 - 50	≈ 1700
Thermal Insulator	120	600 x 1200	0.035	30 - 50	NPD or MU1	1030
DWD panel	16	2510 x 635	0.09	565	11	2100
VARIABLE PART						
External Thermal Coat	50 - 200	1200 x 600	0.035	80	1	≈ 1030
Smoothing Mortar	-	-	0.41	≤ 30	≈ 20	≈ 1000
External Finishing Plaster	≈ 10	-	0.44	18 - 20	≈ 10	-

¹ The panels have been developed with products and materials having these average thermal characteristics.

Tab. 1 | Components of the Renew-Wall panel's layers and their average thermal characteristics.

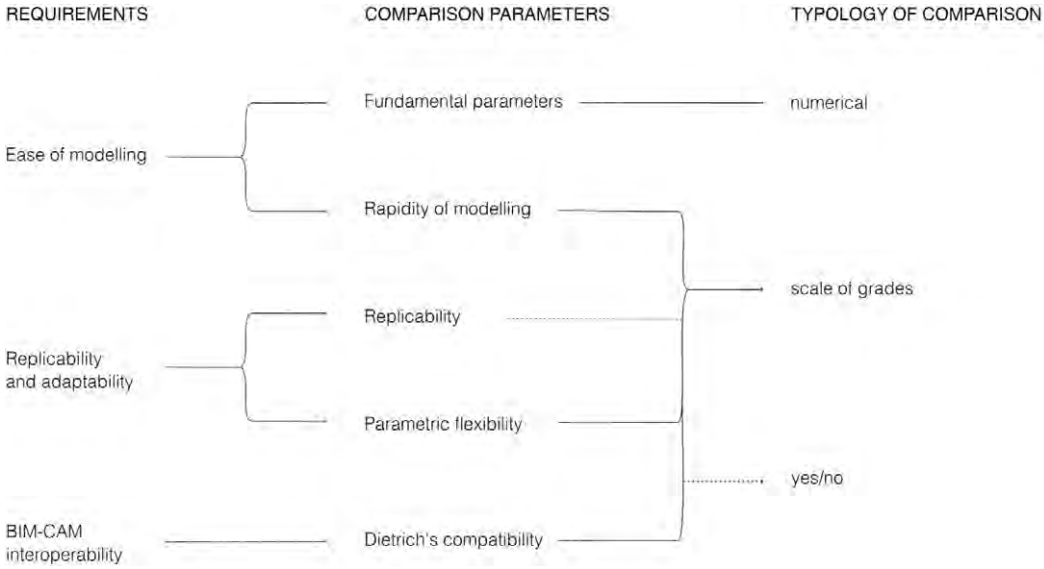
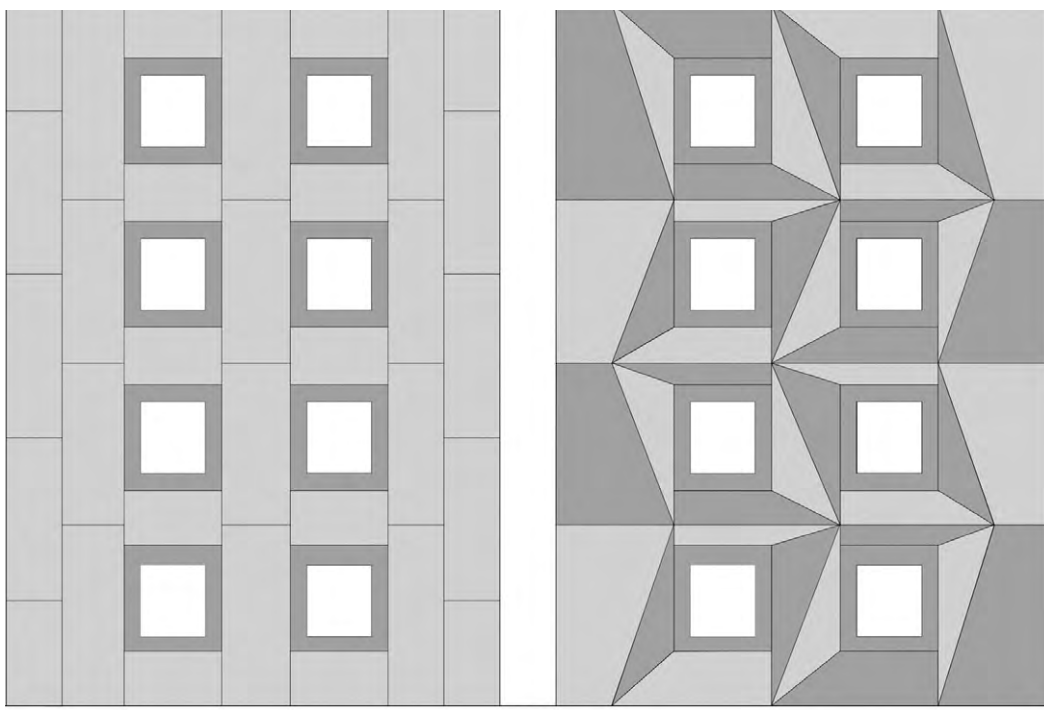


Fig. 3 | Illustrative scheme of the possibility to vary the cladding configurations (credit: University of Trento, DICAM, LAMARC, the Authors, 2021).

Fig. 4 | Translation of the needs related to the digital management of the Renew-Wall system into parameters for the comparison of the various modelling tests (credit: University of Trento, DICAM, LAMARC, the Authors, 2021).

Il primo tentativo di modellazione ha riguardato il Pannello Full (RW-F), il pannello privo di aperture; una volta impostate le formule che definiscono i parametri del pannello, se ne è verificato il comportamento secondo varie configurazioni di lunghezza e altezza. Appuratone il corretto funzionamento, le stesse formule sono state adottate per modellare le Famiglie corrispondenti alle altre tipologie di pannello (Window, Door e Corner), apportando le variazioni e/o integrazioni necessarie. Le Famiglie di ciascun pannello contengono diverse varianti di soluzioni di connessione strutturale e di finitura esterna.

Per supportare l'ufficio tecnico della ditta Fanti Legnami nella gestione digitale del sistema Renew-Wall, si sono redatte delle Linee Guida all'uso della libreria BIM ed è stato creato un file Template (.rte) di Revit. Il Template è una raccolta ordinata degli oggetti modellati, lo strumento attra-

verso cui condividerli in maniera semplice con progettisti e operatori. In particolare il file contiene: una tavola di sintesi delle Linee Guida, con rimando al testo integrale; tutte le Famiglie delle diverse tipologie di pannello; tutti i componenti nidificati utilizzati nella fase di assemblaggio; un abaco preimpostato per il calcolo dei componenti necessari alla produzione, utili per l'ufficio tecnico.

Applicazione sperimentale: validazione della soluzione proposta | Il corretto funzionamento della libreria BIM è stato verificato a partire dal Template, usato per riprodurre in ambiente digitale il rivestimento di un piccolo edificio in muratura (Test Cell). La struttura, edificata accanto allo stabilimento Fanti per la prototipazione e il monitoraggio del pannello, è stata modellata in Revit e rivestita attraverso l'applicazione delle Famiglie create, riproducendo la disposizione, le dimen-

sioni e le tipologie dei pannelli reali (Fig. 9). Il test è stato effettuato dapprima internamente, da parte del gruppo di lavoro che ha implementato la libreria, per individuare eventuali automatismi da correggere o sviluppare meglio. In un secondo momento il Template contenente la libreria, così come il modello della Test Cell priva di pannelli, è stato messo a disposizione dell'ufficio tecnico di Fanti Legnami e di uno studio di progettazione che ha collaborato al progetto ed è stato chiesto loro di replicare autonomamente il test, segnalando eventuali problematiche o possibili implementazioni.

Risultati e considerazioni | I pannelli Renew-Wall, per le loro caratteristiche geometriche e tecnologiche, non rientrano tra le categorie di elementi di chiusura verticale esterna per i quali Revit offre automatismi di progettazione e/o modellazione adattiva. Per questo motivo è stato necessario testare diverse possibili soluzioni equivalenti per lo sviluppo della libreria in modo tale da individuare la soluzione più adatta. Per quanto riguarda la revisione complessiva del sistema Renew-Wall, la gestione in ambiente BIM ha garantito: l'individuazione di eventuali interferenze tra componenti costruttivi (es. piastre di ancoraggio superiori e inferiori); la definizione sistematica di misure limite, utili per il trasporto e la posa in opera in cantiere; la possibilità di generare abachi finalizzati a valutare agevolmente le quantità di materiali necessarie sia per la produzione interna, sia per l'approvvigionamento esterno all'azienda (Fig. 10; Tab. 4).

La fase di validazione effettuata da parte del gruppo di lavoro che ha sviluppato la libreria ha consentito di riscontrare alcune criticità nella gestione parametrica dei componenti del pannello che si ripetono a intervalli regolari, come i montanti interni oppure le piastre di ancoraggio. Il software, infatti, permette la creazione di una matrice di elementi il cui numero deve essere maggiore di 2; il problema sorge quando il pannello ha una lunghezza inferiore all'interasse minimo tra i montanti, quindi anche quando la distanza tra il bordo estremo del pannello e la finestra (o porta) è inferiore allo stesso valore. Per risolvere questa limitazione del software è stato necessario associare alla matrice di montanti verticali un parametro di visibilità, il quale: rende visibile l'intera matrice dei montanti verticali, quando questi sono in numero maggiore di 2; rende visibile il singolo montante quando la lunghezza risulta inferiore all'interasse minimo.

Questo inconveniente determina un errato conteggio degli elementi generato nell'abaco di default di Revit, in quanto gli elementi nascosti nell'ambiente digitale vengono comunque conteggiati, anche se non visibili. Per consentire il corretto conteggio degli elementi effettivamente presenti nell'ambiente di Revit sono stati quindi creati ulteriori parametri, basati su formule e con istruzioni condizionali. In particolare si è proceduto alla creazione dei Parametri Condivisi di Revit creati all'interno delle singole famiglie di pannelli. Questi parametri sono esportati automaticamente dal software in formato .txt e sono trasferibili anche ad altri progetti. Le formule condizionali, utilizzate all'interno dei Parametri Condivisi e finalizzate al conteggio dei vari elementi che compongono i pannelli (ad esempio il numero di piastre di anco-

raggio e montanti interni e le loro dimensioni), si basano sui parametri utilizzati nella fase di modellazione dei pannelli e associano il parametro della lunghezza agli operatori condizionali che il software mette a disposizione (operatori 'if', 'or' e le loro possibili combinazioni).

I feedback ottenuti dagli utenti esterni al gruppo di lavoro che ha implementato la libreria sono stati di tipo qualitativo e hanno consentito di evidenziare come tanto la gestione delle varie famiglie quanto il loro posizionamento all'interno dell'ambiente di lavoro risultano essere intuitivi fin dal primo utilizzo. Inoltre anche l'impostazione dei parametri che ne governano il comportamento dimensionale è risultata di immediata comprensione, anche per gli utenti non esperti nell'utilizzo del software Revit.

Conclusioni | Il contributo evidenzia come anche per componenti edilizi molto specifici, tra cui quelli del sistema Renew-Wall, l'ambiente BIM offra l'opportunità di individuare una soluzione digitale integrata valida per l'intero processo, dalla progettazione alla realizzazione. Data l'ampia gamma di alternative disponibili all'interno dei software di BIM authoring, per definire l'opzione migliore è fondamentale avere un quadro chiaro delle esi-

genze e degli scopi degli utenti effettivi. In tal senso il confronto di diverse strategie di modellazione, basato su una preliminare analisi delle esigenze connesse alla gestione digitale e focalizzato sulla tipologia di pannello più semplice (Pannello Full), si è dimostrato una scelta efficiente; infatti ha consentito di definire una soluzione compatibile con gli obiettivi specifici del progetto in un primo momento sulla base di una singola tipologia di pannello e di estenderla successivamente all'intero sistema.

Il contributo conferma quindi l'importanza di stabilire gli obiettivi della gestione digitale e di confrontarsi con gli attori coinvolti nelle fasi preliminari alla modellazione come metodo per individuare di volta in volta le soluzioni più adatte alla modellazione in ambiente BIM di qualsiasi componente; questa esigenza è ancora più significativa per quanto riguarda interventi sul patrimonio esistente o gestione digitale di elementi edilizi innovativi, difficilmente inquadrabili all'interno delle logiche di molti software di BIM authoring, ottimizzati principalmente per le nuove costruzioni.

La soluzione individuata per il sistema Renew-Wall, con opportuni adattamenti, potrebbe essere impiegata per la gestione digitale di altri progetti di riqualificazione energetica del patrimonio edili-

zio esistente con l'impiego di pannelli prefabbricati. La strategia di modellazione adottata potrebbe altresì servire per elementi costruttivi che presentano analogie tecnologiche, come ad esempio i pannelli in cartongesso che, pur funzionalmente riconducibili a muri, sono contraddistinti da una struttura a telaio analoga a quella del pannello presentato in questo contributo.

I risultati illustrati sono stati testati esclusivamente su un progetto prototipo (Test Cell), per questo tra gli sviluppi futuri è auspicabile ipotizzare l'applicazione a un caso studio di riqualificazione energetica di un edificio più complesso, quale ad esempio un edificio residenziale su più piani. Un altro aspetto da validare operativamente riguarda l'effettiva produzione di componenti in legno a partire da un progetto sviluppato in ambiente BIM, in quanto è stato testato solo il passaggio informativo e non l'intero processo produttivo. Un ulteriore limite della soluzione individuata riguarda l'utilizzo di un applicativo software commerciale, che rende la fase di progetto accessibile quasi esclusivamente a un ufficio tecnico dotato non solo delle competenze tecniche ma anche delle licenze necessarie all'utilizzo del software. Questa limitazione potrebbe essere superata sperimentando le soluzioni

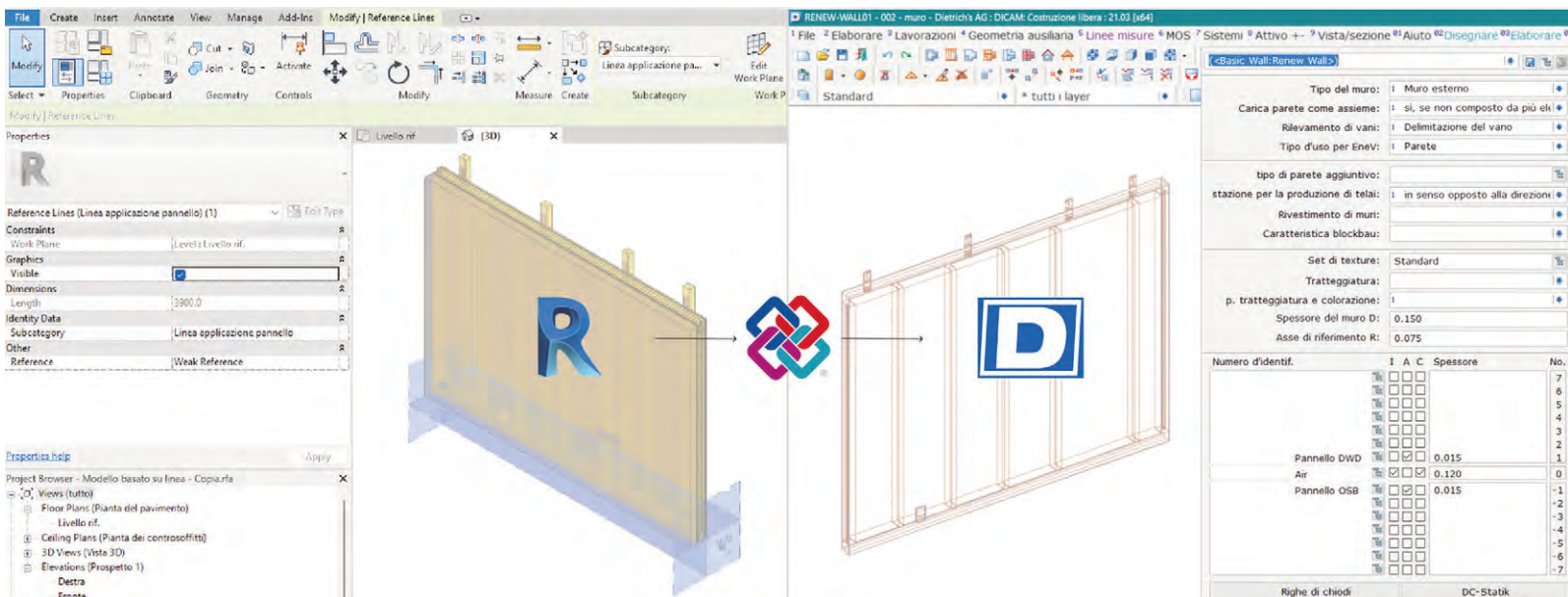
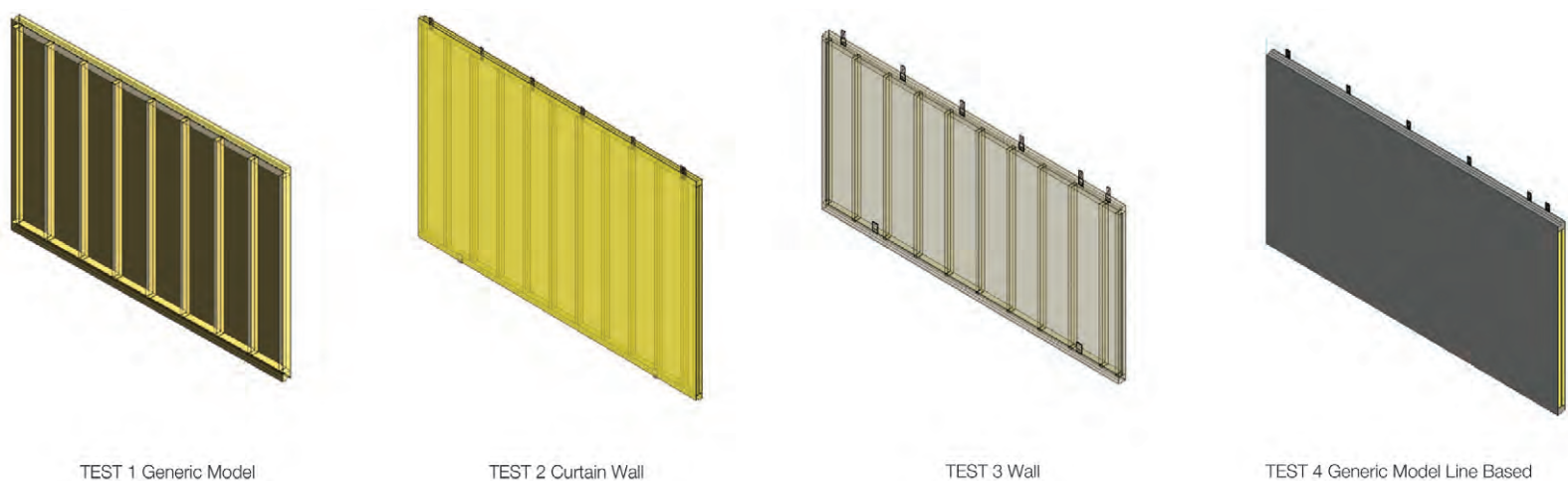


Fig. 5 | Panel modelling test to define the best design strategy of the Revit Families (credit: University of Trento, DICAM, LAMARC, the Authors, 2021).

Fig. 6 | Transfer and recognition of geometric and material data from Revit software to Dietrich's through the IFC format (credit: University of Trento, DICAM, LAMARC, the Authors, 2021).

	a. Fundamental parameters [N°]	b. Rapidly of modelling [1-5]	c. Replicability [yes/no]	d. Parametric flexibility [1-5]	e. Dietrich's compatibility [1-5]	Scale of grades
Test 1 Wall	1	1/5	no	1/5	5/5	1 Poor
Test 2 Generic Model	2	3/5	yes	2/5	4/5	2 Fair
Test 3 Curtain Wall	5	2/5	yes	3/5	4/5	3 Good
Test 4 Generic Model Line-based	1	4/5	yes	4/5	4/5	4 Very good
						5 Excellent

Tab. 2 | Comparison table of the developed modelling strategies.

Element	Revit Family	Family Category	Parametric dimensions							
			H	L	T	ED	WIH	HW	HH	V
1. EXTERNAL FINISH										
Opt. A. Plaster	C_RW_Intonaco	Generic Model	X	X	X	X*	X*	X*	X*	
Opt. B. Curtain wall's panels	C_RW_Facciata ventilata	Generic Model	X	X	X	X*	X*	X*	X*	
Opt. B. Curtain wall's mullions	C_RW_Montanti	Generic Model	X	X	X					
2. CENTRAL STRATIGRAPHY										
Thermal coat	C_RW_Cappotto esterno	Generic Model	X	X	X	X*	X*	X*	X*	
DWD panel	C_RW_Pannello DWD	Generic Model	X	X	X	X*	X*	X*	X*	
Mullions	C_RW_Montanti	Structural Framing	X	X	X					X
Crosspieces	C_RW_Traversi	Structural Framing	X	X	X					
OSB panel	C_RW_Pannello OSB	Generic Model	X	X	X	X*	X*	X*	X*	
3. ANCHORING SYSTEMS										
Anchoring pillars	C_RW_Morali	Structural Framing	X	X	X					X
Anchoring crosspieces	C_RW_Traversi	Structural Framing	X	X	X					
Halfen steel plates	C_RW_Piastre Halfen	Structural Connection		X						X
4. MECHANICAL VENTILATION SYSTEM – WINDOW FRAMES										
MVS	C_RW_VMC	Mechanical Equipment				X**	X**	X**	X**	X**
Monoblock frame	C_RW_Monoblocco	Generic Model				X**	X**	X**	X**	X**

Legend

- H Height
- L Length
- T Thickness
- ED Edge Distance
- * Available in Window (W) and Door (D) panels
- ** Available in Window (W) panel
- WIH Window Impost's Height
- HW Hole's Width
- HH Hole's Height
- V Visibility

Tab. 3 | Renew-Wall panel in Revit environment: Components, Categories and their related parameters.

che si avvalgono esclusivamente di software open source e gratuiti (FOSS – Free and Open Source Software).

The energy performance improvement of an existing building including the optimisation of heat flows between indoor and outdoor environments,

can be achieved through the combination of technological, strategic, and management interventions. Generally, this is obtained by improving the performances of the envelope and systems. Among various possible technological solutions to improve the thermal characteristics of building envelopes, the Energiesprong¹ model (Wiik, 2020) proposes a cladding made of modular, prefabricated timber-framed panels, including an in-

ulating layer and energy-efficient windows and doors. This type of panel allows full or partial integration of a new plant system and customisation through external finishes.

In 2017, the company Fanti Legnami Srl (Val di Non, TN) undertook the Renew-Wall² research program to propose a specific type of prefabricated panel and an integrated workflow to support the entire energy efficiency improvement process.

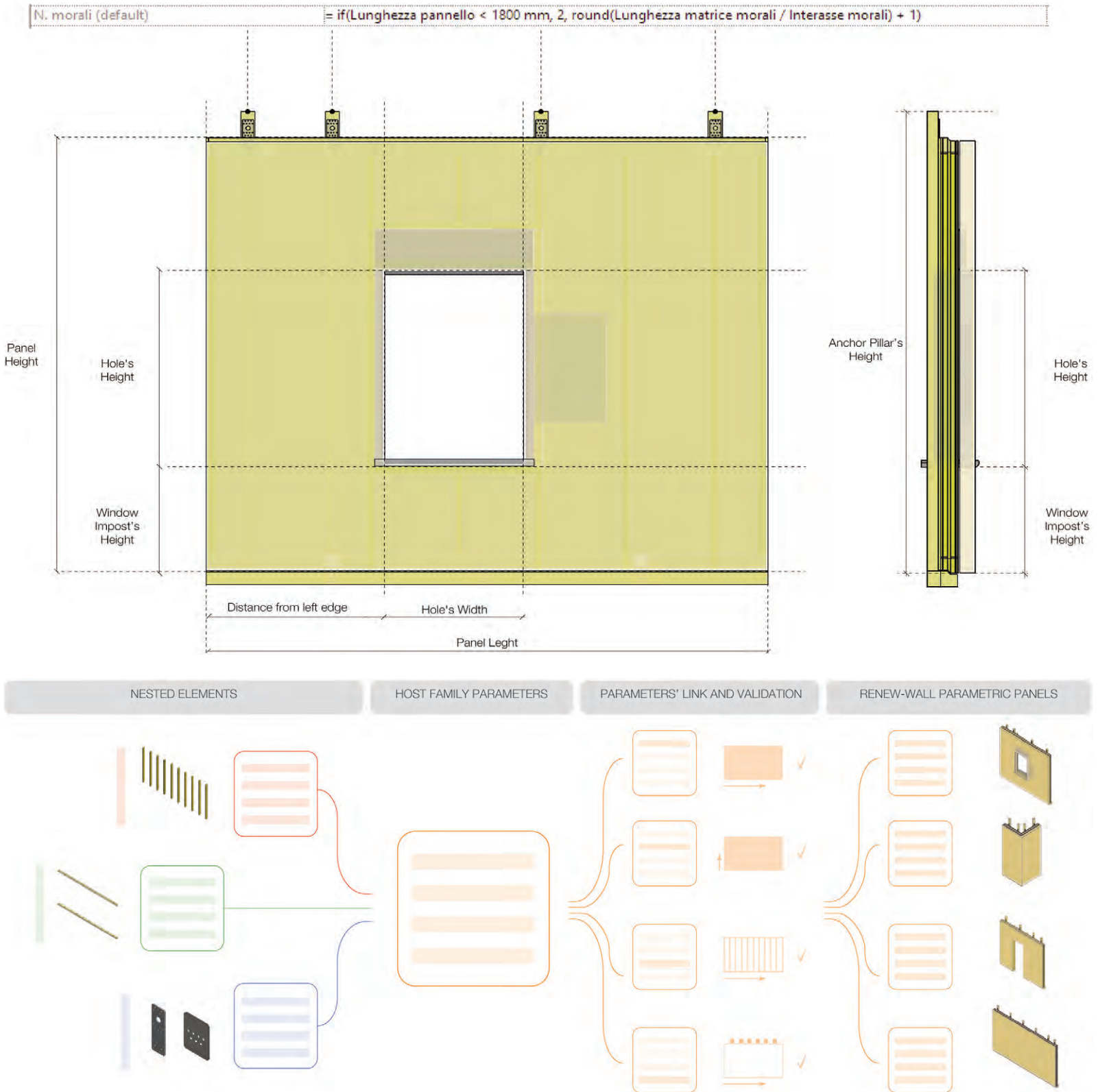


Fig. 7 | Window panel: diagram of Reference Plans and Reference Lines used in the construction of the parameter management grid (credit: University of Trento, DICAM, LAMARC, the Authors, 2021).

Fig. 8 | Workflow for the creation of Renew-Wall Families (credit: University of Trento, DICAM, LAMARC, the Authors, 2021).

Thanks to the financial support of provincial funding and the involvement of research institutes, professionals and experienced technicians, the project has led to the definition of a modular system of prefabricated timber-framed panels. This solution has been designed, prototyped, and tested from a technical-economic, productive, and executive point of view, but also considering performance, sustainability, and safety (Fig. 1).

There are four types of panels, which can be variously combined for the cladding of buildings: Full, Window, Door and Corner (Fig. 2). The Full panel is completely opaque and can be used when walls have no openings on the surface. The Window panel includes one opening, predisposed for the insertion of a mono-block window frame, into which both a shading system and a device for controlled mechanical ventila-

tion (VMC) can be integrated, entirely within the panel thickness. The Door panel has a similar opening, designed to accommodate external doors, such as entrance doors or French windows panel for access to gardens, balconies, loggias, or terraces. Finally, the Corner panel is made up of a combination of two Full panels, suitably assembled to complete the building's cladding on the edges while ensuring a seam-

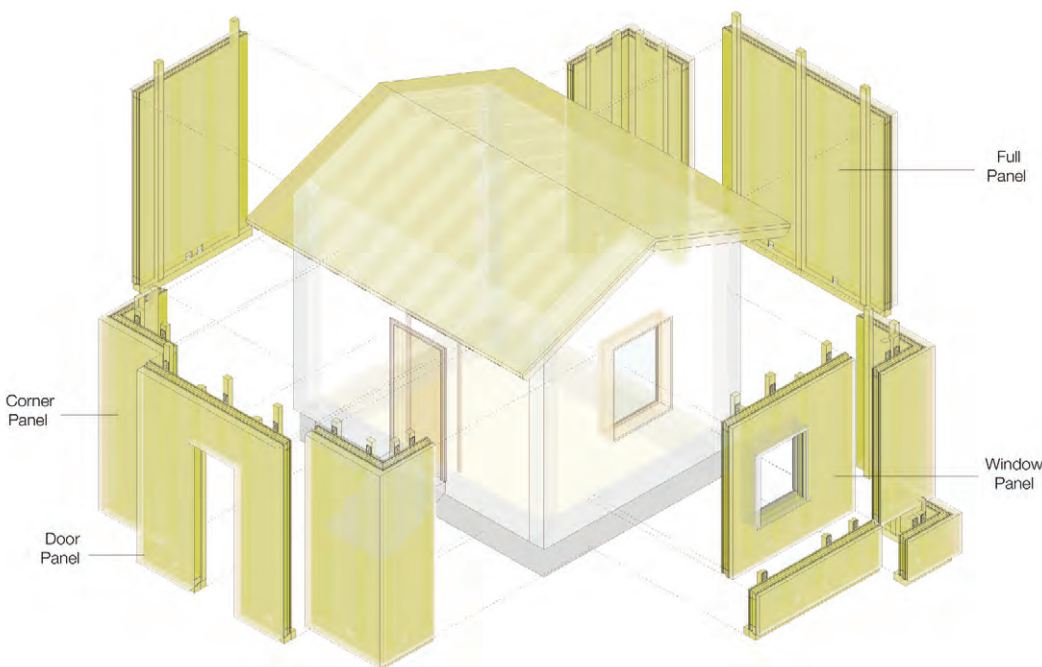
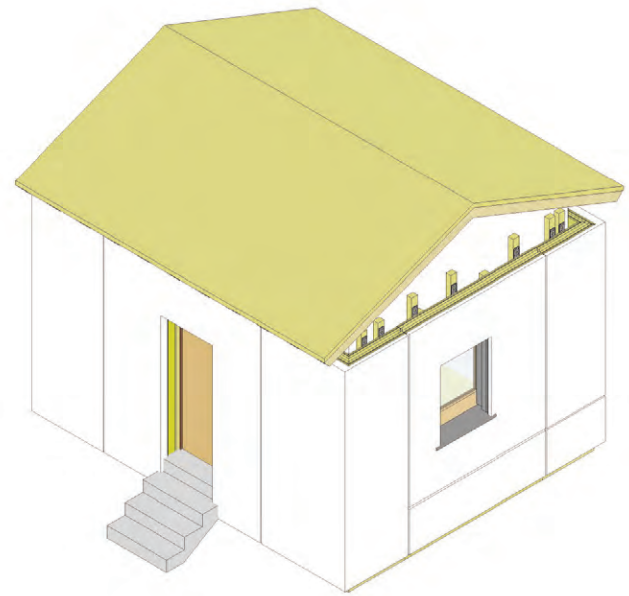


Fig. 9 | View of the Test Cell built on site and the one built in a BIM environment (credit: University of Trento, DICAM, LAMARC, the Authors, 2021).

Fig. 10 | Exploded southwest view of the Test Cell model in a BIM environment (credit: University of Trento, DICAM, LAMARC, the Authors, 2021).

less external finish and effective thermal insulation (Tab. 1).

Each panel includes three layers of thermal insulation and presents an internal wooden structure, completed with structural and technological details. The Renew-Wall system, which can be customised with different textures and finishings, is adaptable to various types of buildings; in particular, it is suitable for the energy upgrade of residential buildings located in urban centres or suburbs. This does not include listed buildings with historical or architectural value, but only the ones that can also be subjected to aesthetical renovations (Fig. 3).

Research objectives and aims: energy retrofit and digital management | In recent years, the problem of the energy performance improvement of existing buildings has been the focus of many research activities. Several recent European studies (Lattke et alii, 2009; Malacarne et alii, 2016; Noris et alii, 2017; Garay Martinez, Benito Ayucar and Arregi Goikole, 2017; Pernetti, Pinotti and Lollini, 2021) suggest the adoption of prefabricated components as a possible solution. The research in this field, in addition to finding technically innovative solutions, is increasingly focusing on possible methods for managing retrofitting inter-

ventions, to make them not only energy-efficient but also economically sustainable. In particular, the production of modular elements integrated with systems, which has undoubted advantages in the construction phase, is only a partial solution, to be integrated into the entire process of retrofitting.

Several studies identify digital management as a possible approach to ensure optimal control over interventions, since it potentially allows for more accurate estimation of intervention times and costs, calculation of the expected reduction in energy consumption and the payback period of the investment, taking into account maintenance costs.

Several digital management strategies have been identified, and most of them specifically focus on the design phases. They involve the creation of object libraries for the energy retrofit of the envelope and their use for project simulation in a BIM³ environment (Masera, Iannaccone and Salvalai, 2014; Salvalai, Sesana and Iannaccone, 2017; Luce, 2019; Maiolatesi, 2019). Starting from similar considerations, many research works are oriented towards fully defining the workflow, involving all the actors – both technical and non-technical – of redevelopment interventions. In this case, digital management is exploited to share data and parametric information models, to overcome obstacles to interoperability. These studies focus more on implementing web applications and BIM-based tools⁴ (Mediavilla et alii, 2018; Elagiry et alii, 2019; Valra et alii, 2021; Daniotti et alii, 2022).

Compared to the studies mentioned above, the Renew-Wall project's contribution is oriented towards transferring efficient experimental practices to local businesses, to make them operationally independent in dealing with retrofitting problems. For this reason, it was decided to focus on issues related to digital management and the transmission of information in a circumscribed field aimed at improving the interaction between designers and manufacturers. To this end, the

methodological phases of the research adopted an applicative approach, which involved constant consultation with the technical department of Fanti to identify answers to practical problems that generally do not emerge in the theoretical field.

In order to manage the complexity of the entire system, keeping some fixed panel features, while allowing the customisability of the others, in accordance with the Renew-Wall system, the research team opted for the development of an integrated digital solution to support the entire workflow, from the design phase to the production phase. In particular, the aim is the digital management of three fundamental phases of the energy retrofitting process, specifically the definition of a reliable preliminary estimate in a short time, the design of the new cladding through Renew-Wall panels and the communication of project data to the production plant. The creation of an ad hoc BIM object library supports design processes and the production of standardised building components. The research presented in this contribution includes four phases: 1) analysis of the requirements related to digital management; 2) comparison of four possible modelling strategies (preliminary tests); 3) library creation and workflow definition; 4) validation of the identified solution.

Digital management in BIM environment: requirements analysis | Thanks to the possibility to model and manage detailed project data, both at component and building scales within the BIM environment, a parametric object library was developed, comparing four possible modelling strategies. The comparison was based on the analysis of the requirements and objectives related to digital management. As a final step in the research, an experimental application allowed verifying the correspondence of the implemented solution with the pre-set objectives.

The identified solution consists of the representation of the four Renew-Wall panel types in a digital environment. The modelled panels are parametrically adaptable to different design configurations and ensure optimal management of each existing building's peculiarities, considering clients' preferences, technical characteristics and feasibility, as well as energy retrofit as a whole. In addition to the creation of the library, a digital workflow has been defined to allow easy assimilation of the procedures to the company.

The digital library is aimed at supporting the technical department in most of the phases that involve it: the design phase, from the preliminary to the executive project, concerning cost estimation, production of technical drawings and construction phase that manages cutting and assembly processes through numerical control machines, thanks to the possibility of sharing project information with the production unit. Therefore, the following requirements were taken into account when comparing the different modelling strategies for the creation of the library: 1) modelling ease during the design phase; 2) BIM objects' replicability and adaptability to different design configurations; 3) transferability of useful information to CAD-CAM software used in the production plant.

Once the requirements had been clarified, it was necessary to mediate between the possible ways of structuring data in the BIM environment

Panel's features and components	Full Panel Thermal coat mm 100	Window Panel Thermal coat mm 40	Door Panel Thermal coat mm 100	Corner Panel Thermal coat mm 40
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
Panel Height	3200	2520	3200	3200
Panel Length	3000	2300	2630	1820
Panel Area	9.6	15	8.42	5.824
Beam Length	3000	2300	2630	1820
Mullion Number	6	6	5	4
Mullion Length	3090	2410	3090	3090
Anchoring pillars' number	3	5	5	4
Groove plate Number	2	3	2	2
Steel plates for wood anchor system	3	5	3	4

Tab. 4 | Elements of the Schedule in the Template of the Renew-Wall panel and their characteristics.

and the BIM library requirements: ease of use, replicability, flexibility, modularity and compatibility with the Dietrich's, that is the 3D CAD-CAM application used for the transmission of information to the numerical control machines for the production of wood components. The analysed requirements were then rendered into criteria for different modelling strategies' comparison, as illustrated in Figure 4.

Parametric modelling of the panel: comparing strategies | The library was realised with the 2021 version of the BIM authoring software Autodesk Revit. This application allows detailed modelling of panels' geometry, as well as the association of additional information data to the 3D model's individual components (prices, materials' specific weight for transport and installation assessments, etc.) and rules on minimum and maximum dimensions, spacing and quantities of each component. These rules are fundamental both to make the models parametrically adaptable to different configurations and to reveal incompatibility between a given variation and the technical feasibility of the panel.

The BIM software Autodesk Revit allows grouping building components (Wall, Window, Staircase, etc.) and/or components for the project definition (Compartment, Parking, Context, etc.) within specific Categories; these labels help to classify elements with similar, specific functions. In fact, each Category has specific features that influence its behaviour within the working environment. In order to identify the solution that best fits the identified characteristics, as an example, the Full panel's type was modelled, comparing the following Categories: Wall, Generic Model, Curtain Wall and Generic Model Line Based (Fig. 5). The following paragraphs show and explain the four tested strategies. Then this contribution analyses the possibility of transmitting design data from the BIM environment to the 3D CAD-CAM software Dietrich's, in use at Fanti Legnami and the comparison between the four tested solutions.

Test 1: Wall Category | This solution is the closest option to the actual function of the panel, which

is an external vertical closing element. The Wall Category also defines the length simply by drawing the two extreme points in the Plan View, while the height is defined through a specific parameter. Unlike the other tested solutions, the model is created within a project file (.rvt), and not within a Revit Family (.rfa format). This happens because the Wall Category only allows customising the various information of the wall package layers through a special dialogue box. Through the Divide surface command, it was possible to manage and modify the individual layers of the panel separately, modelling also the internal structure of the frame, made up of mullions and crosspieces. However, these customisations are not replicable, as they cannot be saved or copied. Even by duplicating the modelled panel, only the original stratigraphy will be reproduced without the specific changes made on the individual layers.

Test 2: Generic Model Category | The Generic Model Category is the most flexible one for creating a building component through the Revit Families editor. In this case, the modelling takes place within a Revit Family file (.rfa), which can be uploaded and replicated in any Revit project. This Category allows wide possibilities for customisation and parameterisation of all the components of the panel. However, unlike the Wall Category, it requires the definition of at least two parameters (height and length) for each panel.

Test 3: Curtain Wall Category | Another tested solution involves associating the entire modular cladding with the Continuous Facade Category. This Category, like the Wall Category, is managed only through project files (.rvt). This Category is designed for modelling walls made of opaque and/or transparent panels embedded inside a grid generally defined through a side elevation view. In this case, the geometric and alphanumeric features of the panel are modelled through the Families editor within the Continuous Facade Panel Category. For the placement of the so-modelled panels in a project file, it is necessary to define a construction grid on the side elevation view

to be coated. In this case, too, it is necessary to define the height and the length parameters, first for the entire grid and then for each panel.

Test 4: Generic Model Line-Based Category |

This solution combines the flexibility of the Generic Model Category with the ease of use of the Wall Category. As with the Generic Model Category, modelling is performed in the Families editor, and the possibility to use the commands for the Wall drawing in Revit simplifies the placement. In particular, it is possible to define the length through the two endpoints and to perform the direct selection of the external line of the existing wall or the automatic alignment. In this case, it is sufficient to define only the height of each panel, as the length is defined through positioning.

CAD-CAM Interoperability | For each of the developed modelling strategies, BIM-CAM interoperability was verified. The IFC interchange format was used for the transmission of modelled data to Dietrich's software, which can export CNC machine-readable files for the realisation of the timber components. For each of the performed tests, importing into Dietrich's has revealed that: the model is entirely visible, and both the geometry of the individual elements and their dimensions are recognised; the material data transfer (larch/fir wood, steel) occurs correctly (Fig. 6). However, importing the panel modelled using the Wall Category allows directly editing the IFC file within Dietrich's digital environment. This aspect, despite not being binding for the production, would facilitate the model revision's operations and the preparation of the files for the CNC machines.

Parametric panel modelling: selected strategy

| Table 2 shows the comparison between the various modelling strategies of the Renew-Wall panel tested according to the following evaluation criteria: fundamental parameters (number of dimensional parameters to be set for each panel); rapidity of modelling (possibility of optimising the modelling times, required both for the panel placement and for the entire modular coating); replicability (possibility of using the BIM panel in different projects); parametric flexibility (simplicity in adapting the panel to different dimensional configurations); compatibility with Dietrich's (completeness in the transmission of the design data defined in the Revit application).

Given that the Wall Category was excluded as it was not replicable, and the compatibility with Dietrich's is equivalent to the other tested modelling strategies, the chosen solution was the one that allowed minimising the number of dimensional parameters to be defined for each panel and optimising overall modelling time, as well as offering wider parametric flexibility. The modelling strategy selected for the Renew-Wall system digital management is, therefore, based on the use of the Generic Model Line-Based Revit Category.

Library creation and workflow definition | After identifying the best digital panel management strategy for the Renew-Wall panel in Revit environment, the entire BIM library was developed, creating parametric models for each panel type. For the BIM library development, all the results of the Renew-Wall system's phases of design and

prototyping have been collected and examined, considering both the technical drawings and the production methods in use at the company. Then, a complete list of the components needed for the assembly of the different types of panels was drawn up, comprising the respective features, both geometric and parametric, which are required for modelling in the digital environment. Then, each component was modelled starting from the project designs, respecting both the dimensional rules and the geometric characteristics defined during the prototyping phase.

The library was organised according to the variable features of the panels: panel typology (Full, Window, Corner and Door), typology of anchoring system to the existing building (solution for masonry building or with a reinforced concrete frame), external finishing (with traditional plaster or ventilated facade solution). The various components have been modelled separately within specific Revit Families, belonging to appropriate Categories of the software (Tab. 3). Specific parameters (dimensional, material-related, visibility, etc.) were created for each element and then linked to the general management parameters of the panel. To apply this method, a Revit host Family belonging to the Generic Model Line Based Category was first created. This Family contains a parametric grid, based on Reference Lines and Reference Planes, which defines the structure and the behaviour of the panel.

The in-use software allows the management of the Reference Planes and the Reference Lines either through linear parameters, defined by the dimensions between the reference planes or through parameters based on mathematical formulas. The latter allow dimensional adaptation, but also the placement of in series-components, such as the mullions arranged at fixed spacing in variable number according to the panel length (Fig. 7). The components (such as mullions, cross-pieces, OSB and DWD panels) were then nested within the host Family through the definition of grid alignment constraints and linking their Instance parameters to the general parameters of the panel. In case of a successive change in the characteristics of the panel's basic elements, the nested structure of the host Family in Revit allows automatic update into the final panel, avoiding repeating all modelling operations that would otherwise result from local changes (Fig. 8).

The first modelling attempt involved the Full Panel (RW-F), the panel without openings. After setting the formulas for the parameters of the panel, the research group verified its behaviour according to the various length and height configurations. After verifying the proper functionality of the panel, the same was applied to other panel types (Window, Door and Corner), making the necessary adjustments and/or integrations. The Families of each panel contain variants of structural connection and external finishing solutions.

To support Fanti Legnami's technical department in the Renew-Wall system's digital management, the research group also developed Guidelines for the use of the BIM library and created a Revit Template file (.rte). The Template is a database of the modelled objects and a tool that easily allows sharing them with designers and operators. In detail, the file contains: a summary table sheet of the Guidelines, with reference to the full text; all

the Families of the different types of panels; all the nested components used during the assembling phase; a pre-set abacus for the calculation of components required for the production, which is useful for the technical department.

Experimental application: validation of the proposed solution |

The research group validated the BIM object library through the Template file, applying the Renew-Wall panels to a small masonry building (Test Cell) within the virtual environment. The Test Cell is a prototype building, next to Fanti's production plant for testing and monitoring the Renew-Wall system. The validation phase consisted of the application of the created Families within Autodesk Revit, reproducing the layout, dimensions, and types of the real panels (Fig. 9). At first, the research group who implemented the library performed the test, to point out any automatisms to correct or to improve. Subsequently, the Template file containing the library, as well as the uncoated Test Cell model, has been provided to the technical department of Fanti Legnami and an engineering studio involved in the project. They were asked to replicate the test independently, reporting any problems or possible implementations.

Results and Considerations |

Despite including a default tool for modelling vertical closure elements (the built-in Wall Family), there are no automated or adaptive modelling solutions within Revit options for the Renew-Wall panels due to their geometric and technological peculiarities. For this reason, the definition of the most suitable option required testing several possible experimental solutions for the library development. The overall review of the Renew-Wall panels, as an energy retrofitting system, took great advantage of the development of an integrated digital solution for design and production management. In particular, it supported the identification of possible interferences between construction components (e.g., upper and lower anchor plates); the systematic definition of boundary measures for transportation and installation at the construction site; the automatic generation of schedules for the assessment of required material quantities, both for internal production and external supply from other companies (Fig. 10; Tab. 4).

The validation phase carried out by the working group that developed the library revealed some critical issues in the parametric management of the iterative panel components, such as the mullions or the anchor plates. The software allows the creation of a series of elements whose number must be greater than two. This problem arises when the length of the panel is lower than the minimum spacing between the mullions. The same happens when the distance between the extreme panel edge and the window (or door) is shorter than the same value. To overcome this software constraint, it was necessary to associate a visibility parameter with the series of mullions. The visibility parameter is switched-on when the panel should include more than two mullions, allowing the visibility of the entire pillar series. On the other hand, the visibility parameter is switched-off, allowing the visibility of the single pillar, when the length is lower than the minimum spacing.

This issue leads to an incorrect counting of el-

ements within Revit default schedules, since they also count hidden elements, despite not being visible. Therefore, the introduction of additional parameters, based on formulas and conditional statements, was crucial for correct counting. In particular, these parameters, created as Revit Shared Parameters within individual panel Families, are automatically exported into .txt format and can be shared with other projects. The conditional formulas, aimed at counting the various elements of the panels (such as the number of anchor plates and mullions), are based on the parameters used in the panel modelling phase and associate the length with the conditional operators ('if', 'or', and their possible combinations) available in the software.

External users released qualitative feedback on the digital solution and highlighted how the management of the various Families and their positioning within the BIM environment emerged as intuitively understandable from the first use. In addition, the setting of the parameters governing their dimensional behaviour was also immediately clear, even for users with no experience in the Revit software.

Conclusions | The paper highlights the opportunities offered by the BIM environment for an inte-

grated digital solution for the entire energy retrofitting process management, from design to construction, also considering specific building components, such as the Renew-Wall panels. Given the wide range of available alternatives within BIM authoring software tools, the definition of optimal digital implementation solutions requires clear comprehension of users' needs and purposes. In this regard, the comparison between the different modelling strategies resulted particularly helpful. The comparison refers to the most basic panel type (the Full Panel) and relies on a preliminary analysis of the digital management needs. This approach supported in defining a solution consistent with the project objectives and applicable to the whole panel system.

The paper thus confirms the importance of objective definition and stakeholder engagement from the early modelling stages. This method allowed for the identification of the most suitable modelling strategy in the BIM environment on a case-by-case basis. The identification of an appropriate modelling strategy is even more significant when it comes to interventions on built heritage or digital management of innovative building elements, which are difficult to fit within the logic of many BIM authoring software tools, mainly optimised for new construction.

The solution identified for the Renew-Wall system, suitably adapted, could be applied to the digital management of other energy retrofitting projects based on prefabricated panels. The adopted modelling strategy could also be used for building elements with technological similarities, such as plasterboard panels, which, while functionally referable to walls, are distinguished by a frame structure, such as the panel presented in this contribution. The results here illustrated are exclusively referred to tests on a prototype project (Test Cell), so a future development of the project should involve the application of the whole system to a more complex and realistic case of study, such as a multi-storey residential building. Another aspect requiring operational validation concerns the production of wood components from a project developed in the BIM environment. Indeed, this project tested only the BIM-CAM information transition and not the entire production process. A further limitation of the identified solution relates to commercial software adoption, which almost exclusively restricts the access to the project phase to professionals with software knowledge and necessary licences. A possible solution to this limitation could involve the definition of workflows based on FOSS (Free and Open-Source Software).

Acknowledgements

The contribution is the result of a joint reflection by the authors, who are equally responsible for the text and the images.

Notes

1) Energiesprong is an intervention model, born in the Netherlands and now widespread throughout Europe and the USA, for the energy retrofit of the built environment while also considering economic and financial management. For more information, visit the webpage: energiesprong.org/about/ [Accessed on 18 October 2022].

2) Applied research programme funded by the Autonomous Province of Trento through Provincial Law no. 6/1999, in collaboration with research institutes, professionals and technical experts.

3) As an example, reference is made to EASEE (Envelope Approach to improve Sustainability and Energy efficiency in Existing multi-storey multi-owner residential buildings), a European project involving the Polytechnic University of Milan (2012-2016) and 'BIM methodologies for a new industrialization of energy performance improvement actions of existing buildings', a project funded by the CARITRO Foundation and coordinated by Professor P. Baggio of the University of Trento (2018-19).

4) As an example, reference is made to several solutions developed within Horizon 2020 projects: RenoBim, an application developed by the BERTIM project (2016-2019); One Stop Access, a platform developed by the BIM4Ren project (2018-2022); BIMMS, a platform developed in the BIM4EEB project (2019-2022).

References

Daniotti, B., Masera, G., Bolognesi, C., Lupica Spagnolo, S., Pavan, A., Iannaccone, G., Signorini, M., Ciuffreda, S., Mirarchi, C., Lucky, M. and Cucuzza, M. (2022), "The Development of a BIM-Based Interoperable Toolkit for Efficient Renovation in Buildings – From BIM to Digital Twin", in *Buildings*, vol. 12, issue 2, article 231, pp. 1-15.

[Online] Available at: doi.org/10.3390/buildings12020231 [Accessed 29 September 2022].

Elagiry, M., Marino, V., Lasarte, N., Elguezabal, P. and Messervey, T. (2019), "BIM4Ren – Barriers to BIM Implementation in Renovation Processes in the Italian Market", in *Buildings*, vol. 9, issue 9, 200, pp. 1-17. [Online] Available at: doi.org/10.3390/buildings9090200 [Accessed 29 September 2022].

Garay Martinez, R., Benito Ayucar, J. and Arregi Goikolea, B. (2017), "Full scale experimental performance assessment of a prefabricated timber panel for the energy retrofitting of multi-rise buildings", in *Energy Procedia*, vol. 122, pp. 3-8. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.288 [Accessed 29 September 2022].

Lattke, F., Larsen, K. E., Ott, S. J. and Cronhjort, Y. (2009), *TES EnergyFaçade – Prefabricated Timber Based Building System for Improving the Energy Efficiency of the Building Envelope*. [Online] Available at: mediatum.ub.tum.de/doc/1355420/287313.pdf [Accessed 29 September 2022].

Luca, F. (2019), "Modellazione parametrica per il retrofitting energetico dell'edilizia esistente – Due possibili strategie", in Empler, T. and Fusinetti, A. (eds), *Modelli e soluzioni per la digitalizzazione – 3D Modeling and BIM*, DEI, Roma, pp. 47-63.

Maiolatesi, A. (2019), "Metodologie BIM per l'analisi Energetica | BIM methodologies for energy analysis", in Empler, T. and Fusinetti, A. (eds), *Modelli e soluzioni per la digitalizzazione – 3D Modeling and BIM*, DEI, Roma, pp. 108-127.

Malacarne, G., Monizza, G. P., Ratajczak, J., Krause, D., Benedetti, C. and Matt, D. T. (2016), "Prefabricated timber façade for the energy refurbishment of the Italian building stock – The Ri.Fa.Re. Project", in *Energy Procedia*, vol. 96, Elsevier, pp. 788-799. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.egypro.2016.09.141 [Accessed 29 September 2022].

Masera, G., Iannaccone, G. and Salvalai, G. (2014), "Retrofitting the existing envelope of residential buildings – Innovative technologies, performance assessment and design methods", in *Advanced Building Skins Conference Proceedings of the 9th Energy Forum, Bressanone, Italy, October 28-29, 2014*, Economic Forum, Munich, pp. 987-

994. [Online] Available at: doi.org/10.13140/RG.2.1.2543.0887 [Accessed 29 September 2022].

Mediavilla, A., Arenaza, X., Sánchez, V., Sebesi, Y. and Philipps, P. (2018), "RenoBIM – Collaboration platform based on open BIM workflows for energy renovation of buildings using timber prefabricated products", in Karlshøj, J. and Scherer, R. (eds), *eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction – Proceedings of the 12th European Conference on Product and Process Modelling (ECPPM 2018), September 12-14, 2018, Copenhagen, Denmark*, CRC Press, pp. 281-288. [Online] Available at: doi.org/10.1201/9780429506215-35 [Accessed 29 September 2022].

Noris, F., Perneti, R., Lennard, Z., Signore, G. and Lollini, R. (2017), "4RinEU – Robust and reliable technology concepts and business models for triggering deep renovation of residential buildings in EU", in *Proceedings*, vol. 1, issue 7, article 661, pp. 1-5. [Online] Available at: doi.org/10.3390/proceedings1070661 [Accessed 29 September 2022].

Perneti, R., Pinotti, R. and Lollini, R. (2021), "Repository of Deep Renovation Packages Based on Industrialized Solutions – Definition and Application", in *Sustainability*, vol. 13, issue 11, article 6412, pp. 1-18. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su13116412 [Accessed 29 September 2022].

Salvalai, G., Sesana, M. M. and Iannaccone, G. (2017), "Deep renovation of multi-storey multi-owner existing residential buildings – A pilot case study in Italy", in *Energy and Buildings*, vol. 148, pp. 23-36. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.05.011 [Accessed 29 September 2022].

Valra, A., Madeddu, D., Chiappetti, J. and Farina, D. (2021), "The BIM Management System – A Common Data Environment Using Linked Data to Support the Efficient Renovation in Buildings", in *Proceedings*, vol. 65, issue 1, article 18, pp. 1-7. [Online] Available at: doi.org/10.3390/proceedings2020065018 [Accessed 29 September 2022].

Wiik, N. (2020), *Thermal retrofitting of buildings in Finland with focus on the Dutch Energiesprong method – Case study Kantvik's school*, Master's Thesis, ARCADIA University of Applied Science, Helsinki. [Online] Available at: theses.fi/handle/10024/270822 [Accessed 29 September 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

Rosa Romano, Elisa Belardi, Paola Gallo, Dario Luigi Distefano

ABSTRACT

Le filiere di produzione edile stanno affrontando una profonda trasformazione in chiave ecologica e digitale con l'obiettivo di sostenere la competitività e la resilienza del settore nei confronti delle sfide ambientali e socioeconomiche in atto. Negli ultimi anni lo sviluppo delle tecnologie digitali ha aperto il campo alla possibilità di trasformare gli impianti per la produzione edilizia prefabbricata in sistemi di Industria 4.0 altamente integrati, controllati ed efficienti sotto il profilo economico e ambientale. La ricerca CARES si inserisce nel dibattito in atto sviluppando e implementando un innovativo modello di produzione di elementi costruttivi realizzati in cartone ondulato, basato sul principio della digitalizzazione di prodotto-processo, attraverso l'utilizzo di strumenti BIM, finalizzato a razionalizzare l'uso delle risorse e a ridurre il carico ambientale della fase realizzativa.

Construction production chains are facing a profound ecological and digital transformation to support the competitiveness and resilience of the sector against ongoing environmental and socio-economic challenges. In recent years, the development of digital technologies has opened the field to the possibility of transforming prefabricated building production facilities into highly integrated, controlled, environmentally and economically efficient Industry 4.0 systems. CARES research is part of the ongoing debate, developing and implementing an innovative production model of construction elements made of corrugated cardboard, based on the principle of product-process digitalization through the use of BIM tools, aimed at rationalizing the use of resources and reducing the environmental burden of the construction phase.

KEYWORDS

industria 4.0, prefabbricazione, personalizzazione di massa, architettura di cartone, architettura di emergenza

industry 4.0, prefabrication, mass customization, cardboard architecture, emergency architecture

Rosa Romano, Architect and PhD, is an Associate Professor at the DiDA Department of the University of Florence (Italy). Her research focuses on the themes of bioecological architecture and innovative technologies for the environment, with particular attention to the management of complex building processes. Email: rosa.romano@unifi.it

Elisa Belardi, Architect and PhD in Architectural Technologies at the Department of Architecture, University of Florence (Italy), carries out research on digital transformation of the building process, with particular reference to prefabricated production systems and innovations in industrial 4.0 systems E-mail: elisa.belardi@unifi.it

Paola Gallo is an Associate Professor of Architecture Technology at the DiDA Department of the University of Florence (Italy) and the Scientific Secretary of the ABITA Centre; she carries out research activity in the thematic field of technical and technological innovation in the architectural project. Email: paola.gallo@unifi.it

Dario Luigi Distefano, Engineer and PhD, is the Founder of the innovative SME Archicart® for which he directs the technical and R&D department. He is an expert in low-tech building systems. E-mail: dariodistefano@archicart.com



Negli ultimi decenni la crescita demografica e la rapida urbanizzazione di molte aree del pianeta hanno determinato un'ingente espansione infrastrutturale ed economica del settore Architecture, Engineering and Construction (AEC), riaccendendo il dibattito sull'effetto provocato da tale sviluppo sugli ecosistemi naturali e antropici. Gli studi di settore stimano che il comparto edile sia ad oggi tra i settori economici maggiormente impattanti sull'ambiente (Guo et alii, 2019).

Un recente rapporto dell'International Energy Agency stabilisce che al solo settore delle costruzioni è attualmente imputabile il 36% del fabbisogno energetico e il 39% delle emissioni di CO₂ su scala globale (Global Alliance for Buildings and Construction, 2019; International Energy Agency and the United Nations Environment Programme, 2019). Inoltre il duplice binomio transizione ecologica-digitale, stimolato dalla programmazione comunitaria e nazionale attraverso numerosi programmi di finanziamento – Next Generation Europe (European Parliament, 2020), Horizon Europe (European Commission, 2019) e il recente PNRR (Ministero dello Sviluppo Economico, 2021) – nonché l'affermazione di modelli di sviluppo basati sui concetti di economia sostenibile e circolare (Ellen MacArthur Foundation, 2013), richiamano la necessità imminente e prorogabile per il comparto AEC di ripensare e innovare profondamente le tecniche, gli approcci e i metodi tradizionali di gestione dei processi edilizi per raggiungere il macro-obiettivo del 'disaccoppiamento', svincolando lo sviluppo economico del settore dallo sfruttamento intensivo delle risorse (Gusmerotti, Frey and Iraldo, 2020).

La questione ambientale è infatti intrinsecamente connessa all'inefficienza degli attuali strumenti e metodi di gestione delle filiere costruttive, che ad oggi risultano estremamente parcellizzate e incapaci di gestire la crescente complessità delle opere edilizie (Wang et alii, 2020). In primo luogo ciò è causato dall'adozione di approcci tradizionali alla costruzione, basati ancora sulla centralità del cantiere come luogo privilegiato in cui avviene gran parte delle sequenze realizzative (Galluccio, 2019). In secondo luogo le problematiche gestionali dei processi edilizi risultano come conseguenza di uno scarso livello di digitalizzazione coinvolto nella gestione del ciclo di vita degli edifici, superiore soltanto ai settori della caccia e dell'agricoltura (Agarwal, Chandrasekaran and Sridhar, 2016). Le conseguenze sono una limitata capacità di prevedere e controllare i processi edilizi, con frequente presenza di errori e difetti di realizzazione delle opere, diminuzione della qualità e delle prestazioni in opera, dilatazione dei tempi e dei costi di intervento (Abanda, Tah and Cheung, 2017).

In questo scenario la produzione edilizia prefabbricata rappresenta una modalità realizzativa che asseconda le esigenze di controllo, prevedibilità e razionalizzazione dei processi edilizi (Du et alii, 2019). Un tema, quello della prefabbricazione, che oggi si rinnova in virtù delle innovazioni introdotte dalla Quarta Rivoluzione Industriale, abilitata da una sempre maggiore compenetrazione tra mondo fisico e digitale (Oesterreich and Teutenberg, 2016). Negli ultimi anni tale trasformazione ha portato all'affermazione del modello produttivo Industria 4.0, che risulta ormai ampiamente consolidato in settori come l'automotiv o l'industria aerospaziale; impianti produttivi altamente tecno-

logici ed efficienti, all'interno dei quali i macchinari e gli strumenti di progetto-fabbricazione risultano interconnessi e messi a sistema attraverso l'uso di tecnologie digitali come l'Artificial Intelligence e l'Internet of Things (Clyde & Co, 2018). Le cosiddette 'smart factories' sono ecosistemi capaci di sviluppare prodotti con elevati standard qualitativi, adattabili secondo logiche di customizzazione di massa, ottimizzando contemporaneamente le risorse utilizzate per ridurre la produzione di rifiuti ed emissioni climateranti.

Partendo da queste riflessioni, il paper presenta gli esiti della ricerca CARES (CArdbord RElocatable School unit), che ha sviluppato un modello scalabile e replicabile per l'industrializzazione 4.0 della produzione di elementi costruttivi realizzati in cartone ondulato, integrando il paradigma della digitalizzazione e di metodologie e strumenti BIM, con l'obiettivo di razionalizzare l'uso delle risorse e ridurre il carico ambientale delle fasi di lavorazione di un materiale sostenibile quale il cartone, ancora poco utilizzato nel settore delle costruzioni, se non in sporadici casi in cui la sua produzione e messa in opera è stata affidata a metodologie realizzative di tipo artigianale.

Lo stato dell'arte dell'uso del cartone ondulato nel settore delle costruzioni

Le attuali tendenze di innovazione nel settore delle costruzioni sono strettamente connesse con le sperimentazioni condotte negli ultimi decenni su materiali e tecnologie costruttive tradizionalmente low-tech, che impiegano risorse ad elevata eco-compatibilità e ridotto carico ambientale (Giglio, 2018). A questo filone di ricerca si possono ricondurre le esperienze relative all'uso del cartone ondulato in edilizia: un materiale a base di fibra di cellulosa, composto da strati sovrapposti di fogli di carta tesa e strati di fogli ondulati, normalmente utilizzato nel settore degli imballaggi per il trasporto di oggetti.

In anni recenti, grazie alla combinazione di proprietà quali resistenza meccanica, leggerezza e versatilità, l'uso del cartone è stato nobilitato nel settore dell'architettura nell'ambito di diversi e interessanti progetti sperimentali. Tra questi si ricordano le realizzazioni di Shigeru Ban e del gruppo Voluntary Architects Network (Ban and Keio University SFC Ban Laboratory, 2010) che, con la Paper Dome, realizzata a Kobe dopo il terremoto del 1995, smontata e rimontata a Taiwan nel 2005, dove attualmente è in uso, (Jodidio, 2015), e la Paper Partition System (2004), anch'essa costruita per rispondere all'esigenza di fornire spazi abitativi di primo soccorso, dimostrano come sia possibile usare elementi tubolari in cartone con funzione strutturale portante per realizzare componenti costruttivi versatili e facilmente assemblabili. Anche le ricerche sviluppate in Olanda dallo studio Fiction Factory, che ha progettato il prototipo abitativo Wikkellhouse¹ utilizzando una struttura portante di cartone ondulato stratificato, e dall'Università di Delft, che ha condotto la ricerca Temporary Emergency Cardboard House (TECH), hanno permesso di testare e validare le prestazioni di sistemi di involucro alveolari realizzati in cartone (Latka, 2017).

I casi studio sopra descritti dimostrano che, nonostante l'enorme potenzialità del cartone (basso impatto ambientale e buone prestazioni termoigrometriche e meccaniche), l'utilizzo di questo materiale è ancora limitato nel settore delle

costruzioni ed è, inoltre, prevalentemente riconducibile a processi costruttivi di impronta puramente artigianale, con conseguente diminuzione dell'efficienza e della sostenibilità delle fasi di realizzazione e messa in opera: presenza di errori, aumento degli sprechi di materiale e rifiuti, aumento dei tempi e dei costi di produzione.

I pannelli PACOTEC™ | Partendo dalle riflessioni inerenti all'analisi dello stato dell'arte e dalla convinzione che le potenzialità insite nell'utilizzo del cartone possano essere incrementate attraverso l'ottimizzazione e la digitalizzazione dei processi di produzione abitualmente utilizzati, la ricerca CARES è stata finalizzata all'individuazione di un partner industriale già coinvolto nella realizzazione off-site di componenti tecnologici realizzati proprio con questo materiale. È con tale obiettivo che, dopo un'attenta analisi di mercato condotta nella fase conoscitiva, è stata selezionata l'azienda Archicart® che attualmente risulta essere l'unica impresa italiana a produrre sistemi modulari in cartone ondulato utilizzabili nel settore delle costruzioni, anche e soprattutto attraverso interessanti sperimentazioni che dimostrano l'applicabilità della tecnologia a processi basati sull'autocostruzione e sulla reversibilità dei sistemi edilizi.

In particolare l'azienda ha sviluppato un innovativo sistema di pannelli prefabbricati di cartone ondulato (PACOTEC™), attualmente realizzati con un metodo brevettato standardizzato (seppur personalizzabile nelle dimensioni e nelle finiture), che permette di assemblarli a secco per la costruzione di pareti divisorie interne (fisse o mobili), rivestimenti e pareti di tamponamento esterne (anche con funzione strutturale).

Ogni pannello è composto da una serie di scatolari (TB) in cartone ondulato a sezione rettangolare, fissati tra loro con colla e rivestiti da un ulteriore strato a sezione rettangolare costituito da due fogli esterni (FE) in cartone (Fig. 1). Alle estremità superiori e inferiori il pannello presenta varie soluzioni di chiusura in relazione alla sua funzione: nel caso delle pareti strutturali (oggetto della ricerca), le chiusure sono realizzate da tavole in legno lamellare dotate di innesti per il collegamento interno dei tubolari, e assolvono anche alla funzione strutturale di ripartizione dei carichi e di collegamento dei pannelli tra loro e con le strutture di fondazione e di copertura.

La sezione resistente cava può essere riempita con materiale coibente termico e/o acustico a basso impatto ambientale (fibra di cellulosa, argilla espansa o pannelli di fibra di legno), per garantire il raggiungimento delle prestazioni termoigrometriche richieste dalla normativa per l'efficienza energetica. Il coating finale delle superfici esterne è realizzato con vernici ad acqua che permettono di incrementare le proprietà termoigrometriche del materiale senza alterarne l'impatto ambientale. L'intero sistema è pensato per essere totalmente disassemblato a fine ciclo vita e riciclato in ogni sua parte.

I pannelli PACOTEC™ sono già stati oggetto di campagne sperimentali per testarne le prestazioni meccaniche e fisiche, attraverso: 1) prove di carico di compressione centrato fino a 7 tonnellate, peso dopo il quale si manifesta rottura per instabilità locale; 2) test e verifica delle prestazioni termoigrometriche e di durabilità in ambiente esterno attraverso la realizzazione di un prototipo



Fig. 1 | Three-dimensional exploded view of the PACOTECH™ panel (credit: Archicart®, 2019).

di unità abitativa di 25 mq (Figg. 2, 3) monitorato per un anno (dal 2018 al 2019) presso il Dipartimento di Ingegneria Civile e Architettura dell'Università degli Studi di Catania (Fig. 4; Distefano, 2019) e nel 2020 presso l'Université de Corse, Ecole d'Ingénieurs PAOLI-Tech (Fig. 5).

La ricerca CARES | Come precedentemente ricordato, l'obiettivo generale della ricerca CARES è stato quello di sviluppare un nuovo modello di processo produttivo di componenti tecnologici realizzati in cartone ondulato, scalabile e replicabile, progettato in accordo con le esigenze del partner industriale selezionato e nel rispetto dei paradigmi dell'Industria 4.0, basato sull'utilizzo di metodologie BIM e sull'adozione di un approccio file-to-factory e lean alla gestione (approvvigionamento dei materiali, controllo e verifica del progetto, fabbricazione e assemblaggio) della produzione finalizzato a: 1) valorizzare le capacità computazionali dei sistemi IT; 2) ottimizzare l'uso delle materie prime e la riduzione della produzione di rifiuti; 3) migliorare il controllo qualitativo del prodotto; 4) favorire la customizzazione di massa del sistema; 5) aumentare il coordinamento tra le diverse fasi del processo.

Sul piano metodologico lo sviluppo della ricerca è stato portato avanti circoscrivendo il campo di indagine rispetto al processo di produzione dei pannelli prefabbricati PACOTECH™, descritti nel paragrafo precedente. L'azienda Archicart® ha messo a disposizione le proprie competenze tecniche, le strumentazioni e il proprio know-how per supportare il trasferimento e l'implementazione sul campo delle proposte elaborate nella fase teorico-sperimentale.

L'analisi del processo di progettazione e produzione dei pannelli PACOTECH™ è stata condotta attraverso la documentazione tecnica messa a disposizione dall'azienda e tramite l'osservazione diretta del processo all'interno dello stabilimento produttivo, con l'obiettivo di definire un diagramma di flusso (Fig. 6) che mettesse a sistema le sequenze, gli attori, gli strumenti coinvolti in ciascuna fase del processo. Rispetto a tale workflow sono stati individuati i seguenti elementi di criticità da correggere per ottimizzarne il processo produttivo in ottica 4.0: 1) scarsa integrazione tra le fasi produttive e gli strumenti utilizzati nello sviluppo delle sequenze; 2) limitata flessibilità del processo per accogliere le istanze di customizzazione del prodotto; 3) gestione del magazzino non coordinata con la produzione; 4) elevata componente di interazione manuale per l'elaborazione dei dati di input di fabbricazione (distinta dei pezzi e istruzioni di lavorazione); 5) elevato rischio di errori di produzione.

A partire dagli input conoscitivi la seconda fase della ricerca ha previsto la progettazione di un nuovo modello di processo ottimizzato e razionalizzato, da adottare per la gestione delle attività di progettazione e prefabbricazione del sistema costruttivo (Fig. 7). In particolare il nuovo workflow proposto è stato sviluppato attraverso la digitalizzazione di prodotto e l'automazione di processo, strutturando le sequenze produttive in modo da minimizzare gli sprechi e gli scarti di produzione (Lekan et alii, 2020). Nel dettaglio, l'integrazione tra le diverse fasi e gli attori coinvolti nel processo è stata ottenuta attraverso l'impiego di un software di modellazione di BIM, estendendone

la funzionalità e testandone l'applicazione anche alla razionalizzazione delle variabili di produzione, quali: 1) l'elaborazione automatizzata della distinta dei pezzi per la gestione degli ordini; 2) il calcolo delle istruzioni di fabbricazione da inviare in input ai macchinari di lavorazione; 3) l'ottimizzazione delle fasi di approvvigionamento del materiale rispetto alle caratteristiche del progetto.

La ricerca ha, infine, previsto una fase di effettiva implementazione all'interno dell'azienda, attraverso l'applicazione del nuovo modello organizzativo e la digitalizzazione del processo produttivo del sistema PACOTECH™, declinato nelle tre tipologie base: verticale, sagomato e orizzontale. Inizialmente è stata operata una discretizzazione dei dati caratterizzanti il pannello secondo elementi invarianti del sistema, dettati da vincoli tecnologici e di produzione, e parametri variabili e personalizzabili (Fig. 8).

Successivamente è stata sviluppata la modellazione parametrica degli elementi principali e secondari del sistema costruttivo attraverso il software BIM Autodesk® Revit, secondo la struttura dei dati schematizzata nella Figura 9 e con un livello di approfondimento dei dati (LOD, norma UNI 11337-4:2017) corrispondente al LOD C: oggetto definito; sono state perciò create delle cosiddette 'famiglie', ovvero file con estensione .rfa (Fig. 10) che costituiscono un 'kit' di componenti digitali caricabili, adattabili e che possono essere scambiati tra diversi dispositivi digitali. All'interno dei modelli digitali sono stati inseriti non solo i parametri che regolano le opzioni di personalizzazione morfologica e dimensionale dei pannelli e degli elementi di completamento, ma anche degli algoritmi che, a partire dai dati di input operano automaticamente un processo di nesting semplificato, ottimizzando il numero e le dimensioni dei fogli di cartone rispetto alle caratteristiche dei pannelli (Fig. 11).

All'interno dei modelli digitali sono state, inoltre, predisposte formule di calcolo automatizzato delle istruzioni di fabbricazione, nella forma di un elenco di coordinate che vengono inviate, attraverso opportuni file di interscambio, ai macchinari per la lavorazione. Infine i dati dal modello sono stati raccolti in una serie di abachi pre-settati all'interno di un modello di progetto del software (file con estensione .rte), utilizzato come un configuratore all'interno del quale: 1) caricare e personalizzare i disegni digitali dei pannelli; 2) gestire le variabili legate all'ordine del materiale secondo dimensioni ottimizzate; 3) inviare le istruzioni esecutive agli strumenti di lavorazione.

Sviluppo della fase di test e verifica attraverso un caso studio

Come prima ricordato, la metodologia adottata per la fase di test è stata basata sul caso studio, verificando la validità dell'ottimizzazione del processo di produzione dei pannelli PACOTECH™ attraverso il loro utilizzo per la realizzazione prototipale di un'unità scolastica temporanea, realizzata con pareti portanti in pannelli prefabbricati in cartone. La scelta funzionale è stata motivata dalla domanda crescente di spazi scolastici accessori (reversibili, leggeri e facilmente assemblabili) durante la recente crisi pandemica. A partire dai file di famiglia editati all'interno del modello di progetto (Fig. 12) sono stati customizzati e aggregati dei modelli digitali di pannelli prefabbricati in cartone ondulato, esplorandone così

le alternative dimensionali e funzionali. Tale comparazione ha portato alla selezione della configurazione rappresentata in Figura 13, ritenuta quella maggiormente rispondente al quadro esigenziale di partenza.

Il modello BIM ha permesso di estrapolare in maniera automatizzata tutti i dati necessari a gestire la produzione dei componenti dell'unità scolastica, e in particolare: a) la distinta dei pezzi da produrre, ovvero il numero e le dimensioni esatte dei fogli di cartone; b) l'elenco ordinato dei dati di input per avviare la lavorazione, cioè una sequenza di coordinate che descrivono il percorso degli utensili di taglio e cordonatura.

La fase successiva ha riguardato l'analisi delle funzionalità del modello BIM per la potenziale riduzione del consumo di materiale. Operativamente la metodologia di lavoro ha previsto di comparare sei scenari, corrispondenti ad altrettante combinazioni dimensionali dei fogli di cartone necessari a produrre i quattro tubolari presenti all'interno del pannello, sfruttando il calcolo automatizzato impostato all'interno di uno degli abachi di computo nel modello di progetto per ottimizzare progressivamente lo scarto di materia prima. Il funzionamento dell'abaco si attiva, infatti, a partire dall'inserimento delle dimensioni dei fogli di cartone in due campi a compilazione libera e selezionando la direzione di immissione dei fogli in macchina. A partire dagli input, gli algoritmi preimpostati all'interno dell'abaco restituiscono il calcolo del consumo di materiale (superficie in metri quadri) e il relativo costo, aggregando i pezzi da produrre all'interno di un foglio fino alle dimensioni massime disponibili.

Le combinazioni testate (compresa quella attuale) sono state quindi ottenute facendo diminuire progressivamente la dimensione del foglio e facendo variare l'altezza del giunto di separazione verticale, che è necessario inserire per i pannelli con altezza superiore alla dimensione massima del foglio (Tabella 1). La comparazione delle varie combinazioni ha permesso di osservare che, rispetto all'attuale gestione della produzione e del magazzino, con il nuovo modello gestionale CARES si può arrivare ad avere una riduzione del consumo totale di cartone pari al 54.84% (combinazione TB-05) rispetto alla soluzione di partenza (combinazione TB-01).

Conclusioni | I risultati della ricerca CARES hanno dimostrato come l'adozione di approcci e strumenti gestionali basati sul principio della duplice digitalizzazione di prodotto-processo, consente di ottenere un aumento generalizzato dell'efficienza e della sostenibilità ambientale del processo realizzativo, ottimizzando il consumo di materiale e riducendo gli scarti di produzione.

Contemporaneamente l'impiego di piattaforme BIM per la gestione dei flussi informativi permette di aggregare le diverse fasi e i vari attori coinvolti nella filiera integrando alla gestione del processo edilizio le fasi di progetto e fabbricazione dei componenti secondo un approccio file-to-factory; ciò comporta una sostanziale riduzione degli errori di fabbricazione, consentendo di aumentare il controllo sulla qualità del prodotto finale e di allineare le prestazioni (tecnico-costruttive, energetiche e di durabilità) verificate in fase di progetto a quelle del manufatto realizzato. Inoltre l'automazione delle sequenze di produzione e assemblag-

gio presuppone la riduzione della componente di interazione tra la manodopera ed i macchinari, con conseguente aumento della sicurezza per gli operatori a cui vengono demandate le sole attività di controllo e supervisione del processo.

Il nuovo modello di processo risulta automaticamente riconfigurabile per accogliere le esigenze di adattabilità e personalizzazione del prodotto, in un'ottica di customizzazione di massa. Le modifiche morfologiche e dimensionali sui componenti, necessarie a garantire l'utilizzabilità del prodotto in contesti diversificati, vengono infatti recepite dalle strumentazioni in maniera automatizzata, senza necessità di riprogrammare manualmente il processo e/o di modificarne le sequenze di sviluppo; ciò permette di allineare i costi della produzione su misura a quelli di una produzione in serie, superando i tradizionali limiti dell'industrializzazione edilizia intesa come fabbricazione di massa di elementi standardizzati.

Rispetto allo stato dell'arte la ricerca ha formalizzato un processo produttivo scalabile e replicabile, basato sul paradigma della trasformazione digitale, che permette di incrementare la produttività dell'impianto e di superare i limiti tradizionalmente legati al carattere sperimentale della realizzazione di manufatti prefabbricati in cartone ondulato. I risultati sono indirizzati agli operatori della filiera costruttiva prefigurando la possibilità di avviare una trasformazione digitale per efficientare la produzione, ridurre il carico ambientale della produzione e sostenere gli obiettivi di resilienza del comparto AEC per far fronte all'attuale crisi delle risorse.

Nella prima fase della ricerca, l'implementazione del modello di processo ha coinvolto i soli aspetti di gestione digitalizzata attinenti alle fasi di progettazione e fabbricazione-assemblaggio dei componenti; le prossime fasi riguarderanno la sperimentazione dell'estensione del controllo BIM alla gestione dell'intero ciclo di vita del prodotto, a partire dall'approvvigionamento dei materiali, alla verifica prestazionale (strutturale, energetica, di valutazione dell'impatto LCA), fino alla fase di fine vita e re-immissione delle risorse in altre catene di valore.

I prossimi step prevedono la realizzazione del prototipo CARES e il suo monitoraggio alla scala reale, in relazione alla fase di produzione e messa in opera, oltre che al controllo delle sue prestazioni energetiche e funzionali, con l'auspicio che la realizzazione di sistemi edilizi realizzati con componenti di cartone ondulato, possa superare la fase sperimentale ed essere considerata una nuova forma di costruzione sostenibile, capace di favorire i progressi di transizione digitale ed ecologica indicati anche dalle politiche energetiche internazionali.

In recent decades, population growth and the rapid urbanization of many global areas have led to a huge infrastructural and economic expansion of the Architecture, Engineering and Construction (AEC) sector, rekindling the debate on the effect caused by this development on natural and anthropogenic ecosystems. Industry studies estimate that the construction sector is today among the most environmentally impactful economic sectors to date (Guo et alii, 2019).



Fig. 2 | Detail of the prototype of a T-Box prefabricated housing unit in corrugated cardboard made with PACOTECH™ port structural load-bearing panels (credit: Archicart®, 2018).

Fig. 3 | Environmental quality monitoring phases within the T-Box prototype (credit: Archicart®, 2018).

Fig. 4 | Construction site for the installation of a prefabricated unit made with PACOTECH™ panels at the University of Corsica, Ecole d'Ingenieurs PAOLI-Tech (credit: Archicart®, 2020).

Fig. 5 | The prefabricated cardboard unit, installed at the University of Corsica, is currently in the energy-environmental monitoring phase (credit: Archicart®, 2020).

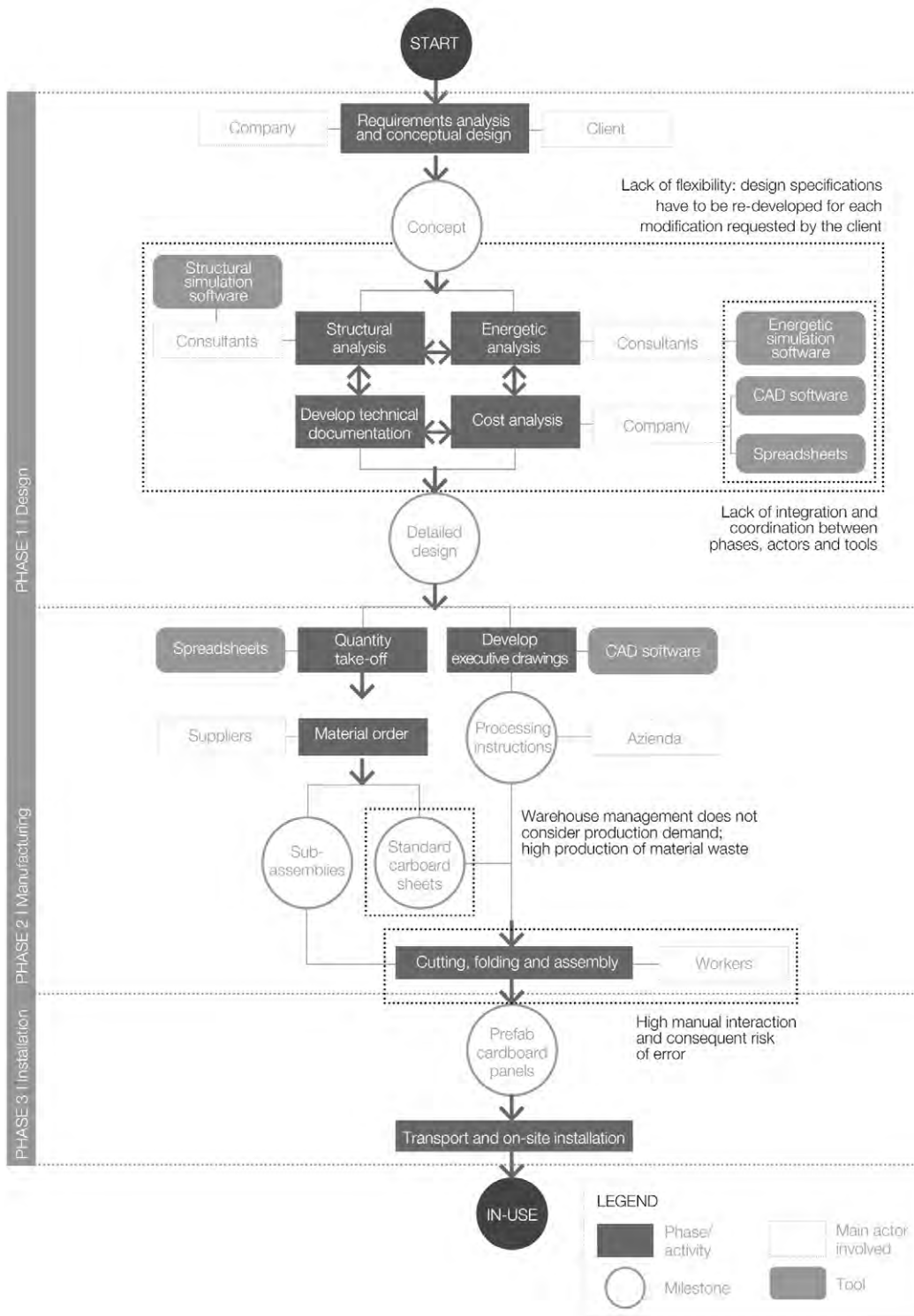


Fig. 6 | Flowchart summarizing the current design and manufacturing process of prefabricated panels (credit: E. Belardi, 2021).

A recent report by the International Energy Agency establishes that the construction sector alone is currently responsible for 36% of energy needs and 39% of CO₂ emissions on a global scale (Global Alliance for Buildings and Construction, 2019; International Energy and the United Nations Environment Programme, 2019). In addition, the dual binomial ecological-digital transition, stimulated by EU and national programming through numerous funding programs – Next Generation Europe (European Parliament, 2020), Horizon Europe (European Commission, 2019) and the recent PNRR (Ministero dello Sviluppo Economico, 2021) – as well as the affirmation of

development models based on the concepts of sustainable and circular economy (Ellen MacArthur Foundation, 2013), draw attention to the imminent and urgent need for the AEC sector to rethink and profoundly innovate traditional techniques, approaches, and methods of managing construction processes. This is necessary to achieve the macro-objective of ‘decoupling’, thus freeing the economic development of the sector from the intensive exploitation of resources (Gusmerotti, Frey and Iraldo, 2020).

The environmental issue is intrinsically connected to the ineffectiveness of the current tools and methods of managing construction supply

chains, which to date are extremely fragmented and unable to deal with the increasing complexity of construction projects (Wang et alii, 2020). Firstly, this is caused by the adoption of traditional approaches to construction, still based on the centrality of the construction site as a privileged place where most of the construction sequences take place (Galluccio, 2019). Furthermore, the management issues related to building processes are a direct consequence of the low level of digitalization involved in building lifecycle management, superior only to the hunting and agriculture sectors (Agarwal, Chandrasekaran and Sridhar, 2016). The effects are reflected in a limited ability to predict and control building processes, with a frequent presence of construction errors and defects, a decrease in quality and work performance, and an increase in the time and costs of intervention (Abanda, Tah and Cheung, 2017).

In this scenario, prefabricated building production represents a construction method that fulfils the demands for control, predictability and rationalisation of building processes (Du et alii, 2019). Prefabrication is a theme that is being renewed today through innovations introduced by the Fourth Industrial Revolution, enabled by an increasing interpenetration between the physical and digital worlds (Oesterreich and Teuteberg, 2016). In recent years, this transformation has led to the affirmation of the Industry 4.0 production model, which is now widely consolidated in sectors such as the automotive or aerospace industry; highly technological and efficient production facilities, within which machinery and design-manufacturing tools are interconnected and systemized through the use of digital technologies such as Artificial Intelligence and the Internet of Things (Clyde & Co, 2018). The so-called ‘smart factories’ are ecosystems capable of developing products with high-quality standards, adaptable according to mass customisation approaches while optimising the resources used to reduce waste and climate-changing emissions.

Based on these considerations, the paper presents the results of the CARES research (Cardboard RElocatable School unit), which developed a scalable and replicable model for the industrialization 4.0 of the production of construction elements made of corrugated cardboard. This model integrates the paradigm of digitalization and BIM methodologies and tools, with the aim of rationalizing the use of resources and reducing the environmental burden of the processing phases of sustainable material such as cardboard, still rarely used in the construction sector, except in isolated cases where production and implementation are carried out through artisanal methodologies.

The use of corrugated cardboard in the construction industry | The current innovation trends in the construction sector are closely connected with the experiments carried out in recent decades on traditionally low-tech materials and construction technologies, which employ resources with high eco-friendliness and reduced environmental burden (Giglio, 2018). Experiences related to the use of corrugated cardboard in construction can be traced back to this line of research: a cellulose fibre-based material composed of over-

lapping layers of stretched paper sheets and layers of corrugated sheets, normally used in packaging for the transportation of objects.

In recent years, thanks to the combination of properties such as mechanical strength, lightness and versatility, the use of cardboard has been ennobled in the architectural sector as part of several interesting experimental projects. These include the projects by Shigeru Ban and the Voluntary Architects Network (Ban and Keio University SFC Ban Laboratory, 2010) such as the Paper Dome, built in Kobe after the earthquake of 1995 and disassembled and reassembled in Taiwan in 2005, where it is currently in use (Jodidio, 2015), and the Paper Partition System (2004), also built to meet the demand for first aid living spaces. These projects demonstrate how it is possible to use tubular cardboard elements with a load-bearing structural function to create versatile and easily assembled construction components. Research developed in Holland by the Fiction Factory studio, which designed the Wikkelhouse housing prototype¹ using a load-bearing structure made of laminated corrugated cardboard, and by the University of Delft, which conducted the Temporary Emergency Cardboard House (TECH) research, also enabled testing and validation of the performance of honeycomb envelope systems made of cardboard (Latka, 2017).

The aforementioned case studies show that, despite the enormous potential of cardboard (low environmental impact and good thermo-hygrometric and mechanical performance), the use of this material is still limited in the construction sector and is, moreover, mainly attributable to construction processes with a purely artisanal imprint, resulting in a decrease in the efficiency and sustainability of the construction and commissioning stages and thus displaying the presence of errors, increased waste of material and refuse, and increased production time and costs.

The PACOTEC panels™ | Drawing on the considerations regarding the analysis of the state of the art and the belief that the inherent potential in the use of cardboard could be increased through the optimization and advanced digitalization of regularly used production processes, CARES research aimed to identify an industrial partner already involved in the off-site production of technological components made from this very material. Archicart® was selected with this objective following a careful market analysis conducted in the cognitive phase, resulting the only Italian company to currently produce modular corrugated cardboard systems that can be used in the construction sector, also and above all through interesting experiments that demonstrate the applicability of technology to processes based on self-construction and the reversibility of building systems.

Specifically, the company developed an innovative system of prefabricated corrugated cardboard panels (PACOTEC™), which are currently made using a standardized patented method (though customizable in size and finish) that allows for their dry assembly in the construction of interior partition walls (fixed or movable), cladding and exterior curtain walls (including those with a structural function).

Each panel (Fig. 1) is composed of a series of corrugated cardboard boxes (TB) with a rectan-

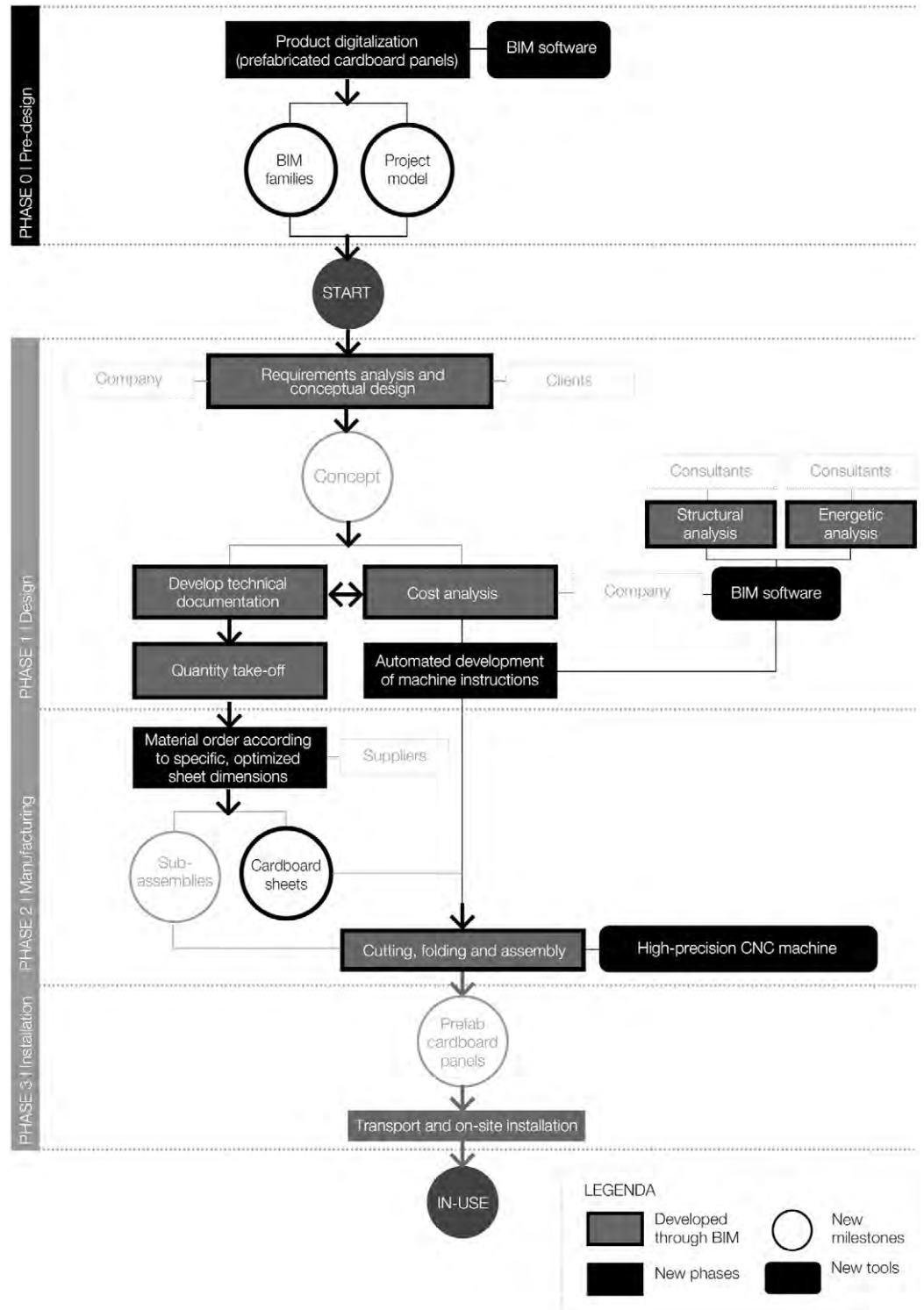


Fig. 7 | Flowchart summarizing the new process developed for the design and production of prefabricated panels (credit: E. Belardi, 2021).

gular section, fastened together with glue and coated with an additional rectangular section layer consisting of two outer cardboard sheets (FE). At the upper and lower ends, the panel presents various closure solutions in relation to its function: in the case of structural walls, the subject of research, the closures are made from laminated wood boards equipped with couplings for the internal connection of the tubes, while also fulfilling the structural function of load sharing and connecting the panels to each other as well as to the foundation and roofing structures.

The hollow-resistant section can be filled with thermal and/or acoustic insulation material with

low environmental impact (cellulose fibre, expanded clay or wood fibre panels), to ensure the achievement of the thermo-hygrometric performance required by the legislation for energy efficiency. The final coating of the external surfaces is made with water-based paints that make it possible to increase the thermo-hygrometric properties of the material without altering the environmental impact. The entire system is designed to be completely disassembled at the end of its life cycle and recycled in all its parts.

PACOTEC™ panels have already been the subject of experimental campaigns to test their mechanical and physical performance, through:

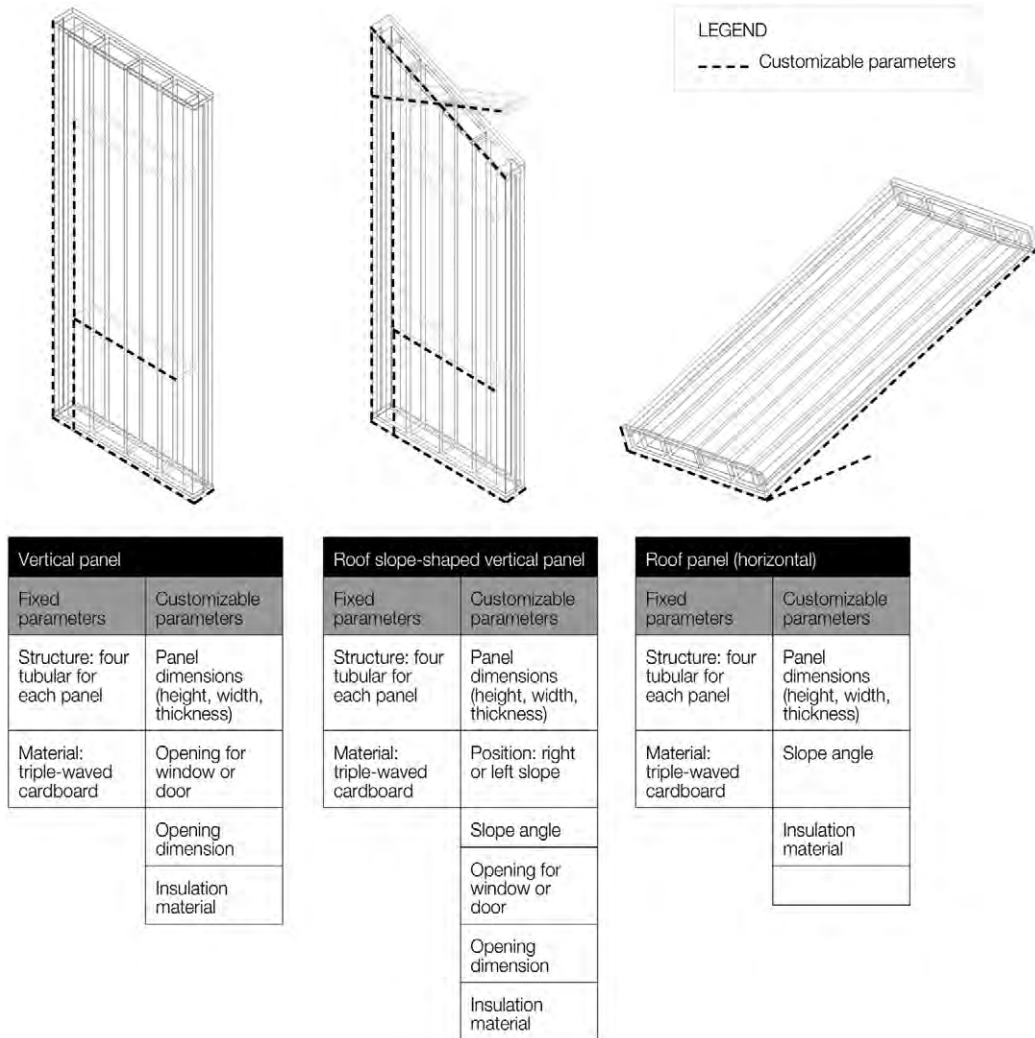


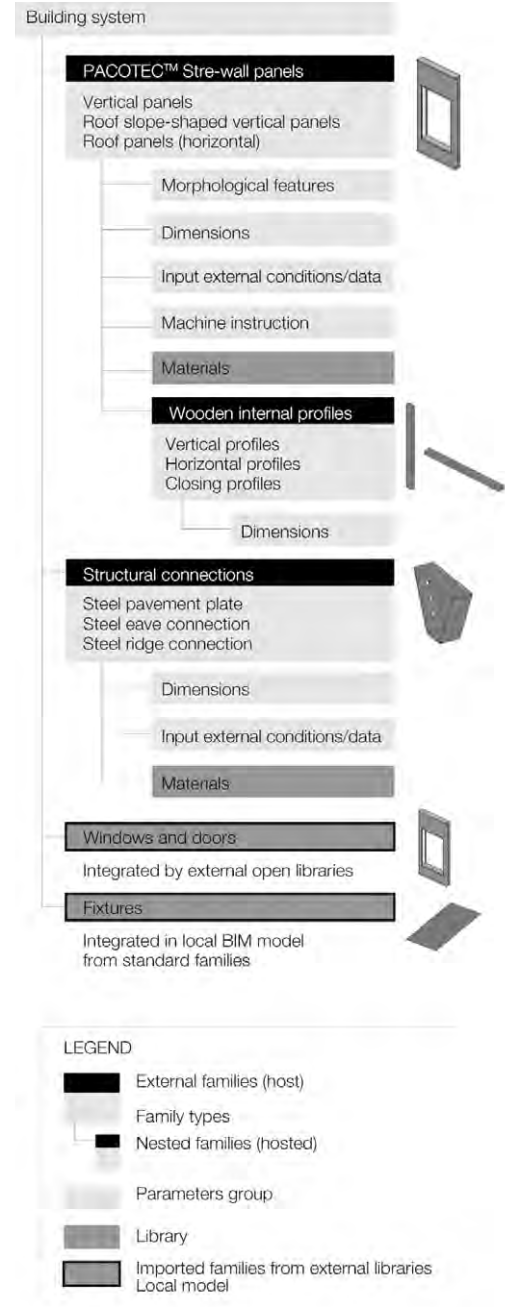
Fig. 8 | Identification of the invariants and customization options of the different types of prefabricated cardboard panels (credit: E. Belardi, 2021).

Fig. 9 | Structure of the data contained within the digitized model of prefabricated panels (credit: E. Belardi, 2021).

Next page

Fig. 10 | Parametric modelling of building system components in Autodesk® Revit: three-dimensional geometric model and example of the parameter variation dialogue window (credit: E. Belardi, 2021).

Fig. 11 | Graphic illustration of the optimization process of the pieces compared to the dimensions of the cardboard sheet, with the explanation of the calculation formula implemented in the software (credit: E. Belardi, 2021).



1) testing of centred compression load up to 7 tons, weight after which breakage due to local instability occurs; 2) testing and verification of thermo-hygrometric performance and durability in the external environment through the creation of a 25 square metres housing unit prototype (Fig. 2, 3) monitored for one year (from 2018 to 2019) at the Department of Civil Engineering and Architecture of the University of Catania (Fig. 4; Distefano, 2019) and in 2020 at the University of Corsica, Ecole d'Ingénieurs PAOLI-Tech (Fig. 5).

CARES Research | As previously mentioned, the general objective of CARES research was to develop a new scalable and replicable model of the production process of technological components made of corrugated cardboard, designed according to the demands of the selected industrial partner and in compliance with the paradigms of Industry 4.0, based on the use of BIM methodologies and the adoption of a file-to-factory and lean approach to production management (material procurement, design control and verification, man-

ufacturing and assembly) aimed at: (1) enhancing the computational capabilities of IT systems; (2) optimizing the use of raw materials and reduction of waste; (3) improving product quality control; (4) supporting mass customization of the system; and (5) increasing coordination between the different stages of the process.

Methodologically, the research development was carried out by narrowing the scope of investigation with respect to the production process of PACOTECH™ prefabricated panels, described in the previous section. Archicart® provided its technical expertise, instrumentation, and know-how to support the transfer and field implementation of the proposals developed in the theoretical-experimental phase.

The analysis of the design and production process of PACOTECH™ panels was carried out through the technical documentation made available by the company and through direct observation of the process within the production facility, with the aim of defining a flow chart (Fig. 6) that systemized the sequences, the actors, and the

tools involved in each phase of the process. In relation to this work-flow, the following critical elements requiring correction to optimize the production process from a 4.0 perspective were identified: 1) poor integration between the production phases and the tools used in the development of the sequences; 2) limited flexibility of the process to accommodate requests for product customization; 3) warehouse management not coordinated with production; 4) high manual interaction component for the processing of manufacturing input data (parts list and processing instructions); 5) high risk of production errors.

Based on the cognitive inputs, the second phase of the research involved the design of a new optimized and rationalized process model to manage the design and prefabrication activities of the building system (Fig. 7). Specifically, the proposed new work-flow was developed through product digitalization and process automation, structuring production sequences in a way that minimizes production waste (Lekan et alii, 2020). In detail, integration between the different stages

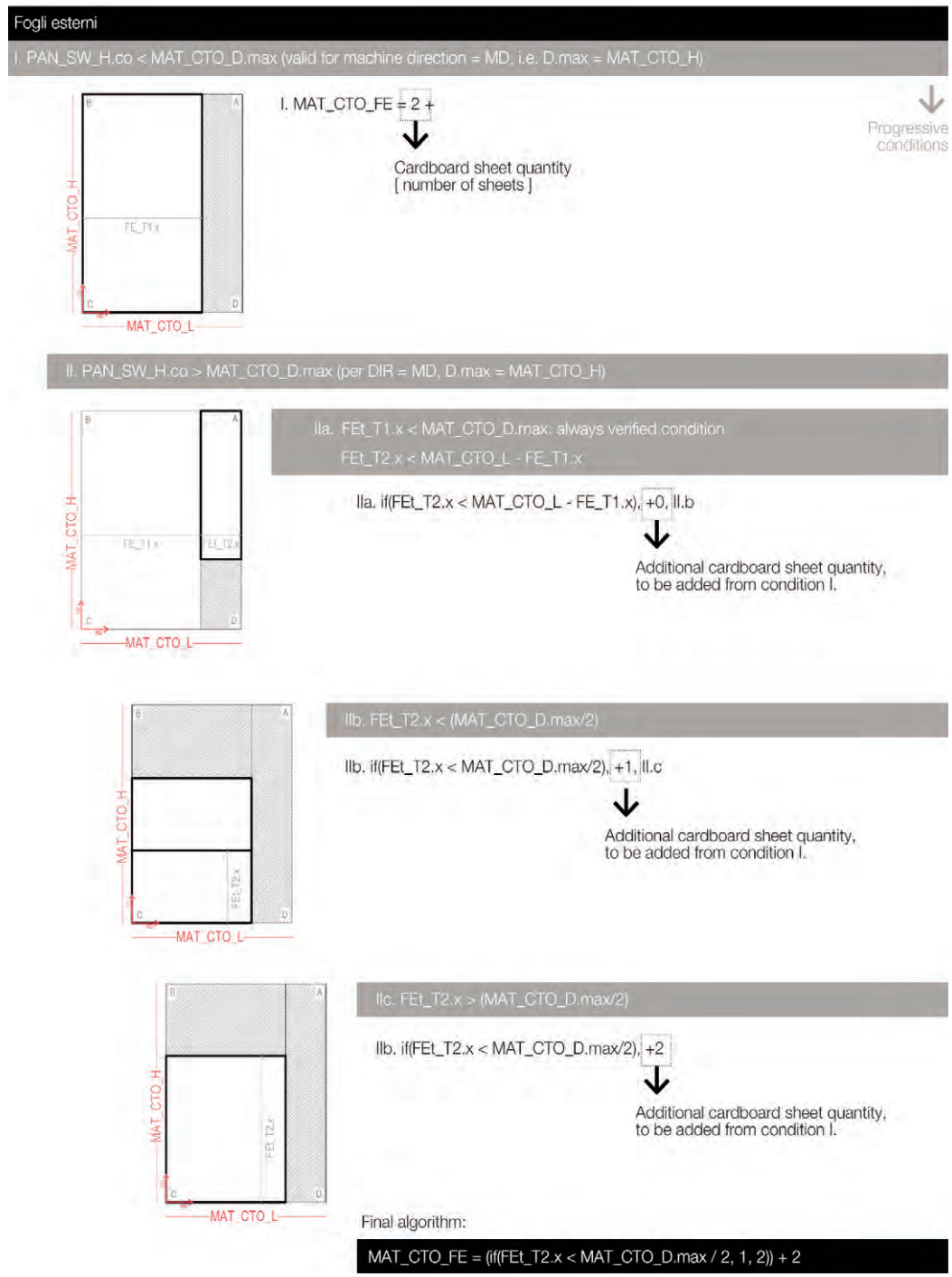
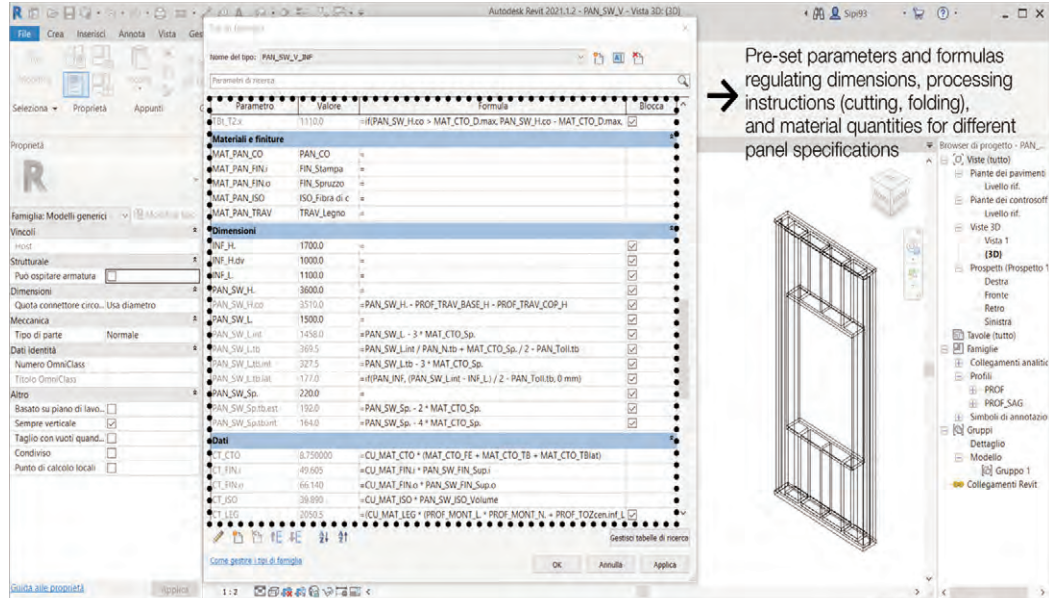
and actors involved in the process was achieved through the use of BIM modelling software, extending its functionality and testing its application to the rationalization of production variables as well, such as: 1) automated processing of the parts list for order management; 2) calculation of manufacturing instructions to be sent as input to processing machinery; 3) optimization of material procurement stages for project characteristics.

Finally, the research envisaged a phase of effective implementation within the company, through the application of the new organizational model and the digitalization of the PACOTEC™ production process, defined in its three basic types: vertical, shaped and horizontal. Initially, a discretization of the data characterizing the panel was made according to system invariant elements, dictated by technological and production constraints, as well as variable and customizable parameters (Fig. 8).

Subsequently, the parametric modelling of the main and secondary elements of the building system was developed through Autodesk® Revit BIM software, according to the data structure outlined in Figure 9 and with a level of data depth (LOD, UNI 11337-4:2017 standard) corresponding to LOD C: defined object; therefore, so-called 'families' were created, i.e., files with .rfa extension (Fig. 10) constituting a 'kit' of digital components that can be loaded, adapted, and exchanged between different digital devices. Embedded within the digital models are not only the parameters that regulate the options for morphological and dimensional customization of the panels and completion elements, but also algorithms that, based on the input data automatically operate a simplified nesting process, optimizing the number and size of the cardboard sheets with respect to the characteristics of the panels (Fig. 11).

Furthermore, automated calculation formulas for manufacturing instructions have been prepared within the digital models, in the form of a list of coordinates that are sent to the machines for processing through appropriate interchange files. Finally, the data processed by the model was collected in a series of pre-set abacuses within a software project template (file with .rte extension), used as a configurator within which to: 1) upload and customize digital models of the panels; 2) manage variables related to material ordering according to optimized dimensions; 3) send execution instructions to the machining tools.

Development of the test and verification phase through a case study | As previously mentioned, the methodology adopted for the test phase was based on the case study, verifying the validity of the optimization of the production process of PACOTEC™ panels through their use for the prototypical realization of a temporary school unit, made with load-bearing walls in prefabricated cardboard panels. The functional choice was motivated by the growing demand for accessory school spaces (reversible, lightweight and easily assembled) during the recent pandemic crisis. Based on the family files edited within the project template (Fig. 12) digital models of prefabricated corrugated board panels were customized and aggregated, thus exploring their design alternatives. This comparison led to the selection of the configuration represented in Figure 13, consid-



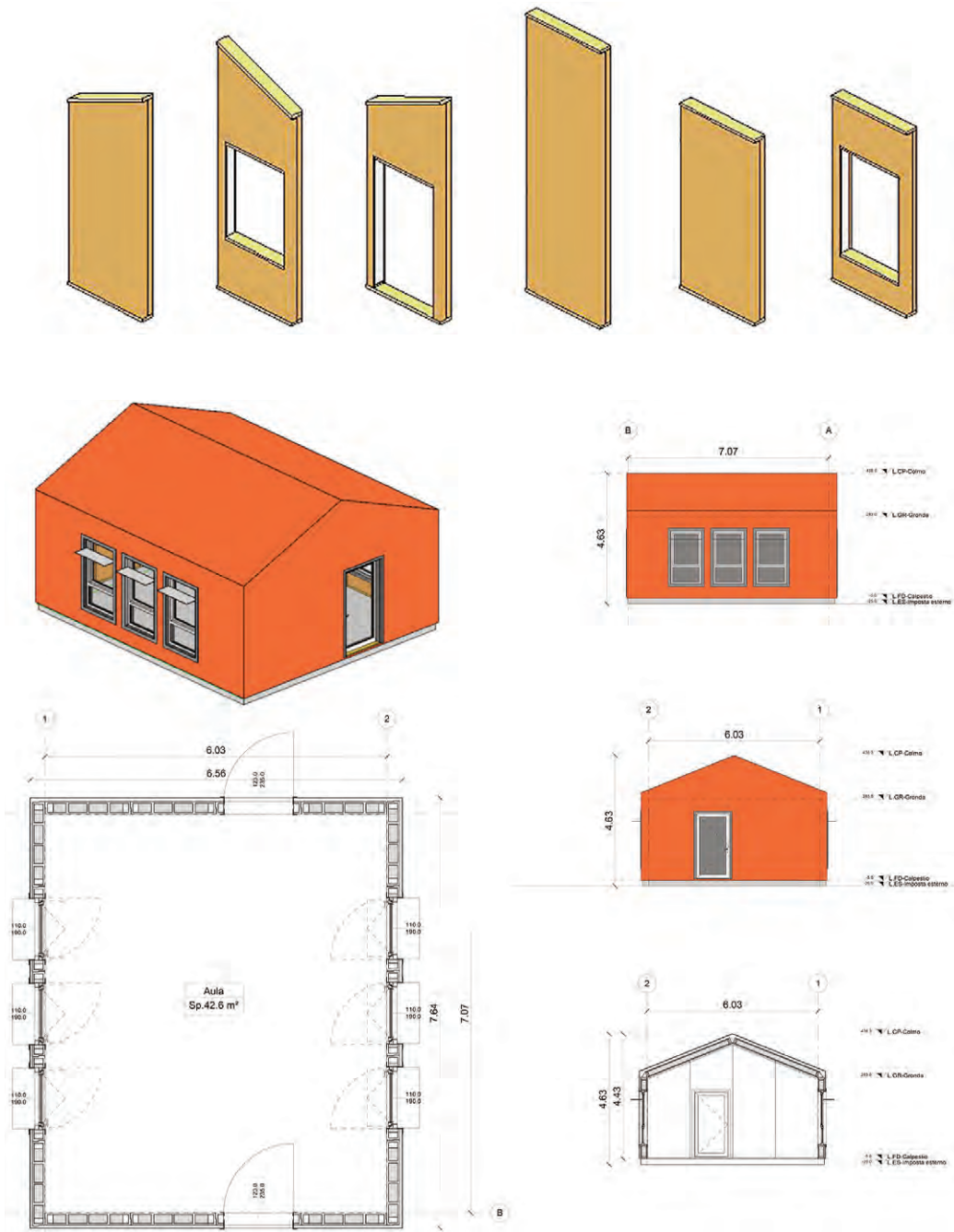


Fig. 12 | Customization of digitized panel models starting from a single information matrix (credit: E. Belardi, Archicart®, 2021).

Fig. 13 | Three-dimensional model, plan, prospectuses and section of the school unit configuration chosen for the implementation of the process model test and verification activities (credit: E. Belardi, Archicart®, 2021).

Combination	Dimensions		Joint height	Total cardboard quantity	Total cost	Saving Percentage of material
a	b [mm]		c [mm]	d [m ²]	e [€]	f
TB-01	2400	3100	2790	781.20	222.60	-
TB-02	1200	3100	2790	390.60	111.30	50.00%
TB-03	1200	3100	1500	522.66	148.93	33.10%
TB-04	1200	3100+2500	1500	489.18	139.39	37.38%
TB-05	1200	2800	2790	352.80	100.53	54.84%
TB-06	1200	2800	1500	472.08	134.52	39.57%

Tab. 1 | Combinations tested for the material consumption of the sheets required to produce the inner tubulars (TB) of the panel.

ered to be the most closely aligned with the initial requirements.

The BIM model enabled the automated extrapolation of all the data needed to manage the production of the school unit's components, namely: a) the parts list to be produced, i.e., the exact number and dimensions of the sheets of cardboard; b) the ordered list of input data needed to initiate processing, namely, a sequence of coordinates describing the path of the cutting and creasing tools.

The next phase concerned the analysis of the functionality of the BIM model for the potential reduction of material consumption. Operationally, the working methodology consisted in comparing six scenarios, corresponding to as many dimensional combinations of the cardboard sheets needed to produce the four tubulars present inside the panel, taking advantage of the automated calculation set within one of the calculation abacuses in the project model to progressively optimize raw material waste. The abacus functioning is activated, in fact, by entering the dimensions of the cardboard sheets in two open-ended fields, and by selecting the direction in which the sheets are inserted into the machine. Based on the inputs, pre-set algorithms within the abacus return the calculation of material consumption (area in square meters) and its cost, aggregating the parts to be produced within a sheet as large as the maximum available size.

The tested combinations (including the current one) were, therefore, obtained by gradually decreasing the sheet size and varying the height of the vertical separation joint, which is required for panels with heights greater than the maximum sheet size (Table 1). By comparing the various combinations, it was possible to observe that, in relation to the current production and warehouse management, the new CARES management model can achieve a reduction in total cardboard consumption of 54.84% (combination TB-05) compared to the starting point (combination TB-01).

Conclusions | CARES research results have shown how the adoption of management approaches and tools based on the principle of the double digitalization of product-process, achieves a generalized increase in the efficiency and environmental sustainability of the production process, optimizing material consumption and reducing production waste.

At the same time, the use of BIM platforms for the management of information flows makes it possible to aggregate the different phases and the various actors involved in the supply chain by

integrating the design and manufacturing phases of the components according to a file-to-factory approach with the management of the construction process; this results in a substantial reduction of manufacturing errors, increasing control over the quality of the final product and aligning the performance (technical-constructive, and related to energy and durability) verified during the design phase with that of the manufactured product. Additionally, the automation of production and assembly sequences requires the reduction of the interaction component between manual labour and machinery, with a consequent increase in safety for operators who are entrusted with the sole control and supervision of the process.

Finally, the new process model is automatically reconfigurable to accommodate product adaptability and customization requirements for mass customization. Morphological and dimensional changes on components, necessary to ensure the usability of the product in diverse contexts, are transposed by the instrumentations in an automated manner, without the need for manual re-

programming of the process and/or modification of its development sequences; this aligns the costs of custom production with those of mass production, overcoming the traditional limitations of building industrialization intended as mass production of standardized elements.

Compared with the state of the art, the study has formalised a scalable and replicable production process, based on the paradigm of digital transformation, which makes it possible to increase plant productivity and overcome the limitations traditionally associated with the experimental nature of the production of prefabricated corrugated cardboard products. The results are aimed at operators in the construction supply chain, envisioning the possibility of embarking on a digital transformation to streamline production, reduce the environmental burden of production, and support the resilience goals of the AEC industry to cope with the current resource crisis.

In the first phase of the research, the implementation of the process model involved only the digitalized management aspects related to the

design and manufacturing-assembly phases of the components; the next phases will concern the experimentation of the extension of BIM control to the management of the entire product lifecycle, from material procurement, through performance verification (structural, energy, LCA impact assessment), to the end-of-life phase and re-introduction of resources into other value chains.

At the same time, the next steps envisage the realization of the CARES prototype and its full-scale monitoring, in relation to the production and implementation phase, as well as the control of its energy and functional performance, with the hope that the construction of building systems made with corrugated cardboard components can overcome the experimental phase and be considered a new form of sustainable construction, capable of promoting the digital and ecological transition also advocated by international energy policies.

Acknowledgements

CARES research was developed under the collaboration and research agreement between the DIDA Department of Architecture (Heads: Prof. P. Gallo and Prof. R. Romano) and the Archicart® trademark of the company AREA Srl (Manager: Eng. D. Distefano) that led to the development of the PhD thesis in Architecture (XXXIV cycle) conducted by Dr E. Belardi entitled CARES Cardboard RElocatable School space (Tutor: Prof. P. Gallo and Prof. R. Romano) funded by MUR. The contribution is the result of the collaboration of all the authors; however, the introductory paragraph and ‘The use of corrugated cardboard in the construction industry’ have been edited by R. Romano (who coordinated the contribution), ‘The PACOTEC panels™’ by D. L. Distefano, ‘CARES research’ and ‘Development of the test and verification phase through a case study’ by E. Belardi and ‘Conclusions’ by P. Gallo.

Note

1) For more information on Wikkellhouse, consult the following webpage: fictionfactory.nl/en/wikkellhouse/ [Accessed 18 September 2022].

References

Abanda, F. H., Tah, J. H. M. and Cheung, F. K. T. (2017), “BIM in off-site manufacturing for buildings”, in *Journal of Building Engineering*, vol. 14, pp. 89-102. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jobte.2017.10.002 [Accessed 18 September 2022].

Agarwal, B. R., Chandrasekaran, S. and Sridhar, M. (2016), *Imagining Construction's Digital Future*, Capital Projects and Infrastructure June 2016, McKinsey Productivity Sciences Center, Singapore. [Online] Available at: mckinsey.com/industries/capital-projects-and-infrastructure/our-insights/imagining-constructions-digital-future# [Accessed 18 September 2022].

Ban, S. and Keio University SFC Ban Laboratory (2010), *Voluntary Architects Network – Making Architecture, Nurturing People – From Rwanda to Haiti*, Inax Publishing.

Clyde & Co (2018), *Embracing the Revolution – Legal and Industry Perspectives as Off-site Manufacturing Gains Traction*, Innovation in Construction Report. [Online]

Available at: clydeco.com/clyde/media/fileslibrary/Reports/PC_Off-site_Manufacturing_Report.pdf [Accessed 18 September 2022].

Distefano, D. L. (2019), *Precast Lightness – Cardboard Architecture Responds to Emergency – Design, Prototyping and Testing of a High Performance Emergency House-kit*, PhD Dissertation, DICAR, University of Catania. [Online] Available at: dspace.unict.it/handle/10761/4195 [Accessed 18 September 2022].

Du, Q., Bao, T., Li, Y., Huang, Y. and Shao, L. (2019), “Impact of prefabrication technology on the cradle-to-site CO₂ emissions of residential buildings”, in *Clean Technologies and Environmental Policy*, vol. 21, issue 7, pp. 1499-1514. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s10098-019-01723-y [Accessed 18 September 2022].

Ellen MacArthur Foundation (2013), *Towards the Circular Economy – Economic and business rationale for an accelerated transition*, vol. 1. [Online] Available at: emf.thirdlight.com/link/x8ay372a3r11-k6775n/@/preview/1?o [Accessed 18 September 2022].

European Commission (2019), *Horizon Europe – The Next EU Research & Innovation Investment Programme (2021-2027)*. [Online] Available at: ec.europa.eu/info/sites/default/files/research_and_innovation/strategy_on_research_and_innovation/presentations/horizon_europe_en_investing_to_shape_our_future.pdf [Accessed 08 October 2022].

European Parliament (2020), *Next Generation EU – A European instrument to counter the impact of the coronavirus pandemic*. [Online] Available at: [europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2020/652000/EPRS_BRI\(2020\)652000_EN.pdf](https://europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2020/652000/EPRS_BRI(2020)652000_EN.pdf) [Accessed 08 October 2022].

Galluccio, G. (2019), *Processi digitali avanzati per l'industria delle costruzioni 4.0 – BIM, digital manufacturing e prefabbricazione nell'edilizia in Cold-Formed Steel*, Aracne, Canterano.

Giglio, F. (2018), “Low Tech e materiali non convenzionali – Misura, Tempo, Luogo | Low Tech and unconventional materials. Measure, Time, Place”, in *Techné | Journal of Technology for Architecture and Environment*, vol. 16, pp. 122-130. [Online] Available at: doi.org/10.13128/Techné-22987 [Accessed 18 September 2022].

Global Alliance for Buildings and Construction, International Energy Agency and the United Nations Environment Programme (2019), *2019 Global Status Report for Buildings and Construction – Towards a zero-emissions, efficient*

and resilient buildings and construction sector. [Online] Available at: iea.org/reports/global-status-report-for-buildings-and-construction-2019 [Accessed 18 September 2022].

Guo, S., Zheng, S., Hu, Y., Hong, J., Wu, X. and Tang, M. (2019), “Embodied energy use in the global construction industry”, in *Applied Energy*, vol. 256, 113838, pp. 1-12. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113838 [Accessed 18 September 2022].

Gusmerotti, N. M., Frey, M. and Iraldo, F. (2020), *Management dell'economia circolare – Principi, drivers, modelli di business e misurazione*, FrancoAngeli, Milano.

Jodidio, P. (2015), *Shigeru Ban – Complete Works 1985-2015*, Taschen, Slovakia.

Latka, J. F. (2017), *Paper in architecture – Research by design, engineering and prototyping*, Architecture and the Built environment, n. 19. [Online] Available at: journals.open.tudelft.nl/abe/article/view/1875/2292 [Accessed 18 September 2022].

Lekan, A., Clinton, A., Fayomi, O. S. I. and James, O. (2020), “Lean thinking and industrial 4.0 approach to achieving construction 4.0 for industrialization and technological development”, in *Buildings*, vol. 10, issue 12, article 221, pp. 1-27. [Online] Available at: doi.org/10.3390/buildings10120221 [Accessed 18 September 2022].

Ministero dello Sviluppo Economico (2021), *Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza*. [Online] Available at: governo.it/sites/governo.it/files/PNRR.pdf [Accessed 08 October 2022].

Oesterreich, T. D. and Teuteberg, F. (2016), “Understanding the Implications of Digitisation and Automation in the Context of Industry 4.0 – A Triangulation Approach and Elements of a Research Agenda for the Construction Industry”, in *Computers in Industry*, vol. 83, pp. 121-139. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.compind.2016.09.006 [Accessed 08 October 2022].

Wang, M., Wang, C. C., Sepasgozar, S. and Zlatanova, S. (2020), “A Systematic Review of Digital Technology Adoption in Off-Site Construction – Current Status and Future Direction towards Industry 4.0”, in *Buildings*, vol. 10, issue 11, article 204, pp. 1-29. [Online] Available at: doi.org/10.3390/buildings10110204 [Accessed 08 October 2022].

TRANSIZIONE DIGITALE PER IL FACILITY MANAGEMENT BIM, CMMS e manutenzione predittiva

DIGITAL TRANSITION IN FACILITY MANAGEMENT BIM, CMMS and diagnostic maintenance

Mario Claudio Dejaco, Chiara Scanagatta, Antonino Mannino,
Massimiliano Condotta

ABSTRACT

La gestione del ciclo di vita è un aspetto fondamentale nella progettazione di edifici sostenibili e nella ricerca di strategie di gestione efficiente del costruito. In tale contesto la ricerca qui presentata ha come obiettivo l'integrazione della fase di Facility Management all'interno di tale processo virtuoso. L'obiettivo è lo sviluppo di una strategia user-friendly e cost-effective che consenta di creare un digital twin, basato su sistema CMMS, sul quale integrare la raccolta dati in tempo reale per ottimizzare le fasi d'uso e manutenzione, verso un sistema predittivo. La strategia è stata sviluppata attraverso due casi studio, il primo legato alla procedura per la realizzazione di un digital twin su database CMMS, il secondo per la definizione degli indicatori necessari per una raccolta dati in tempo reale funzionale alla manutenzione predittiva.

Managing a building's life cycle is a fundamental part of designing sustainable constructions and implementing efficient management strategies. The research described in this paper is inserted within this context, with the objective of integrating the facility management phase within this virtuous process. The purpose of the study is to develop a user-friendly and cost-effective strategy that can be used to create a digital twin, based on CMMS, on which to integrate real-time data in order to optimise the use and maintenance phases, moving towards a predictive system. The strategy was developed through two case studies. The first was linked to the procedure to build the digital twin on the CMMS database, and the second was to define the indicators necessary to collect data in real-time, a function underpinning diagnostic maintenance.

KEYWORDS

gestione del ciclo di vita, BIM, CMMS, digital twin, dati in tempo reale

lifecycle management, BIM, CMMS, digital twin, real-time data

Mario Claudio Dejaco, Engineer and PhD, is an Associate Professor at DICAM, University of Trento (Italy). He carries out research in the field of building construction process management, project choices and consequences for the phases of the asset's execution, use, management and disposal. E-mail: marioclaudio.dejaco@unitn.it

Chiara Scanagatta, Architect and PhD, is a Research Fellow at Università Iuav di Venezia (Italy). Her field of research is on technologies that support participatory planning for urban transformation, and on the tools to manage the maintenance phase in buildings. She also carries out research into environmental planning, sustainability and building technology. Mob. +39 340 597 67 27 | E-mail: cscanagatta@iuav.it

Antonino Mannino, Engineer and PhD, works for Tekser Srl (Italy); his area of research is in the use of real-time data in building management, exploring the methods and procedures to collect and manage data in the various phases of the asset's life cycle (planning, use, maintenance and disposal). E-mail: antonino.mannino@polimi.it

Massimiliano Condotta, Architect and PhD, teaches Architectural Technology at Università Iuav di Venezia (Italy); his research field is information technology applied to architectural/technological design and sustainability processes in architecture. Mob. +39 349 420 12 18 | E-mail: massimiliano.condotta@iuav.it



Il concetto di BIM 7D e di gestione del ciclo di vita del costruito è un tema ormai irrinunciabile nella progettazione di edifici sostenibili e nell'attuazione di strategie di gestione del processo edilizio meno dispendiose in termini di costi e utilizzo dei materiali (Chen et alii, 2019; Dawood, Siddle and Dawood, 2019; Karimi, Iordanova and St-Onge, 2021; Lemaire et alii, 2019). Questa necessità di prestare attenzione a ogni aspetto della vita degli edifici, includendo anche le fasi d'uso e manutenzione, si inserisce all'interno di un'ottica generale di progettazione attenta all'ambiente, che si preoccupa del consumo energetico, della tutela dell'ecosistema naturale e del costruito esistente (Katsigarakis, Lilis and Rovas, 2021; Kazado, Kavgic and Eskicioglu, 2019; Mirzaei et alii, 2018). In tale contesto, il lavoro di ricerca qui presentato, da un lato indaga l'importanza di processi innovativi di Facility Management attuati attraverso strumenti digitali che permettano una ottimizzazione dei consumi e delle risorse, dall'altro propone nuove soluzioni e strumenti, a supporto di tali processi, sviluppati attraverso due casi applicativi. La condizione fondamentale per ottimizzare i processi di manutenzione è l'integrazione di questo approccio fin dalle fasi progettuali, sfruttando le potenzialità degli strumenti BIM per poter disporre di 'gemelli digitali' popolati dalle informazioni necessarie sia alla fase costruttiva sia a quella gestionale dell'edificio.

Nonostante questo concetto possa sembrare scontato, in ambito reale l'utilizzo di strumenti BIM nelle operazioni di gestione e manutenzione presenta delle criticità dovute alle diverse necessità delle fasi del ciclo di vita (Halttula, Haapasalo and Silvola, 2020; Jung, Hakkinen and Rekola, 2018) e alla necessità di integrare software specializzati (Sibenik and Kovacic, 2021; Viklund Tallgren et alii, 2020; Watfa, Hawash and Jaafar, 2021). Pertanto, un primo ambito di problematiche da affrontare riguarda, come affermano Shalabi e Turkan (2020), gli attuali sistemi di Facility Management (FM) che mancano di capacità di interoperabilità e sono gestiti da team diversi. In questa condizione i Facility Manager riscontrano difficoltà nell'identificare gli spazi problematici all'interno delle strutture, isolare i tipi di problemi e dare priorità all'impatto che questi possono avere. Un secondo campo di problematiche è rappresentato dalla mancata gestione, intesa come raccolta e analisi, di dati in tempo reale: tali informazioni, provenienti da ambienti e sistemi impiantistici, si possono utilizzare al fine di trasformare il componente in un prodotto che porta con sé le informazioni che permettano di ricostruire, ottimizzare, e talvolta allungare, il suo ciclo di vita.

In merito alle problematiche di interoperabilità, IFC è lo standard più adatto a supportare lo scambio di informazioni tra diversi software BIM (Ait-Lamallam et alii, 2021; Laakso and Kiviniemi, 2012; Sampaio and Gomes, 2021), mentre lo standard COBie¹ (East, 2007) è il formato più comune per il trasferimento dei dati da BIM a CMMS (Computer Maintenance Management System). Attualmente COBie è costruito sullo standard IFC (East, Nisbet and Liebich, 2013) ed è un MVD (Model View Definition) standard nonché un sottoinsieme dello schema IFC (Kristine Fallon Associates, 2013). In tempi recenti Kumar e Ai Lin Teo (2020b) hanno testato COBie per verificarne i vantaggi; il loro studio ha dimostrato come COBie,

nella sua implementazione come plug-in per software BIM, abbia alcune caratteristiche principali che lo rendono poco adatto per realtà medio-piccole in quanto: a) richiede un'eccessiva quantità di inserimento manuale dei dati, b) non è user-friendly nella sua logica di compilazione dei dati; c) sono assenti meccanismi di controllo automatico del completo trasferimento da BIM a CMMS delle informazioni necessarie alla manutenzione, richiedendo pertanto ulteriore attività di controllo da parte di un operatore (Kumar and Ai Lin Teo, 2020a).

Un'ulteriore criticità, che si manifesta nella fase di post-importazione, è relativa all'aggiornamento del database a seguito di modifiche sul progetto o nell'edificio. Abdalaal e Shukri (2020) hanno già evidenziato come un database CMMS aggiornato sia essenziale per poter gestire correttamente la manutenzione; tuttavia, i sistemi oggi esistenti non permettono un aggiornamento incrementale imponendo invece una completa re-importazione con un evidente intenso impiego di risorse.

Per quanto riguarda le problematiche relative alla gestione delle informazioni, negli ultimi anni un crescente numero di ricerche ha affrontato il tema dell'integrazione dei dati in tempo reale con il modello digitale dell'edificio, proponendo un crescente numero di innovazioni; questo contesto evidenzia come i dati in tempo reale presentino un elevato potenziale nell'ottimizzazione dei processi FM, soprattutto per quanto riguarda la gestione documentale, la sicurezza, la logistica e la gestione energetica dell'edificio (Wong, Ge and He, 2018). Tuttavia, vi sono anche dei limiti dettati più che dagli aspetti tecnologici delle soluzioni, dalla loro implementazione da parte dei vari stakeholders. Risulta pertanto strategico riuscire a definire una procedura di monitoraggio che permetta di capire quali dati è necessario monitorare, con che frequenza e dove conservare le informazioni raccolte.

Tra le principali sfide emerse dai vari studi che hanno affrontato il tema dell'integrazione dei dati in tempo reale con il modello digitale dell'edificio, vi è la definizione di uno standard per integrare e gestire i dati raccolti (Tang et alii, 2019). D'altra parte l'utilizzo di una rete sensori wireless presenta altre due criticità, soprattutto se realizzate in edifici esistenti: la trasmissione del segnale e l'alimentazione dei dispositivi. Relativamente alla prima, il numero dei dispositivi necessari alla corretta trasmissione dati può essere significativamente limitato dal tipo di edificio o, in base alle quantità necessarie, può influenzare negativamente i costi di implementazione delle soluzioni. In merito alla seconda, non sempre il sensore può essere collegato alla rete elettrica, creando difficoltà tecniche nella raccolta dati.

A partire dai presupposti e dalle problematiche evidenziate, obiettivo della ricerca è stato lo sviluppo di una strategia user-friendly e cost-effective per la creazione di database CMMS a partire da modelli BIM, supportata da sistemi per la raccolta di dati in tempo reale attraverso un sistema di sensoristica diffusa. L'obiettivo a lungo termine è un sistema integrato di gestione e manutenzione dell'edificio e di tutte le sue componenti tecniche e tecnologiche in grado di supportare approcci predittivi. La scelta di sviluppare una procedura semplificata nasce dall'idea di consentire alle piccole-medie imprese di accedere a tali

opzioni utili per le fasi di gestione delle operazioni, pratica attualmente poco diffusa poiché gli strumenti già in commercio non sono economicamente sostenibili per queste realtà. Pertanto, gli obiettivi specifici della ricerca riguardano la definizione di procedure per: 1) trasformare un progetto di architettura o la restituzione di un edificio esistente, definiti in ambiente BIM, in un digital twin aggiornabile in modo incrementale; 2) integrare, all'interno dell'ambiente CMMS, sensori e strumenti digitali per la raccolta di dati in tempo reale, permettendo una visualizzazione dei dati semplificata in modo tale da coinvolgere anche gli utenti meno esperti nella gestione dell'edificio, proponendo allo stesso tempo alcune alternative per la gestione e visualizzazione dei dati raccolti tramite sensoristica.

Metodologia e fasi | Per il raggiungimento dell'obiettivo complessivo della ricerca è stato necessario operare in modo separato su ciascuno degli obiettivi specifici. Infatti, date le tempistiche necessarie per la realizzazione di un digital twin funzionale e per la successiva implementazione del sistema di sensoristica ad esso collegato, non era possibile testare l'intera procedura attraverso un unico caso studio. L'attività di ricerca è stata pertanto strutturata in due percorsi paralleli con l'individuazione, per ciascuno dei due ambiti d'indagine, di un caso studio ad hoc, consistente in uno o più asset esistenti (Fig. 1). L'individuazione dei due casi studio è stata condizionata dalla necessità di disporre di temi affini per poter successivamente confrontare i risultati e omogeneizzare gli esiti della ricerca. A una fase iniziale di matrice comune di analisi delle strutture e di definizione delle procedure da mettere in atto è seguita l'applicazione personalizzata alle necessità e opportunità correlate ai singoli casi studio.

In particolare, il primo obiettivo è stato sviluppato e testato attraverso il Complesso edilizio dell'Ospedale di Feltre utilizzando un approccio in quattro fasi (Fig. 2). Il caso presenta asset immobili e mobili già esistenti con la necessità di creare un gemello digitale per la gestione della manutenzione con sistemi CMMS evoluti. La prima fase ha definito una struttura dati chiara e il più possibile condivisibile per il database CMMS e la corrispondente tassonomia per descrivere gli aspetti spaziali dell'edificio, così da non dover ridefinire la struttura dati per ogni caso specifico. A tale scopo sono stati esaminati vari software CMMS esistenti per raccogliere informazioni sulla loro logica di gestione dei dati, ed è stato avviato un confronto con alcuni Facility Managers per comprenderne i desideri e quali aspetti dei software in commercio avessero effettiva necessità di implementazione.

La seconda fase, attraverso un'attività di desk study, si è concentrata sul confronto tra la struttura dati così definita e lo standard IFC per determinare una struttura di mapping tra quest'ultimo e CMMS. Tale fase è stata necessaria per identificare quali campi IFC sono utili per la procedura di importazione in CMMS, in quanto l'esportazione IFC da BIM propone un set di dati molto ampio e non necessariamente utile nella sua completezza. Il terzo momento ha visto la definizione di una query, basata sulla tassonomia definita in precedenza, per lo sviluppo dello strumento di importazione degli IFC nei CMMS sotto forma di record di database. La fase finale ha riguardato la vali-

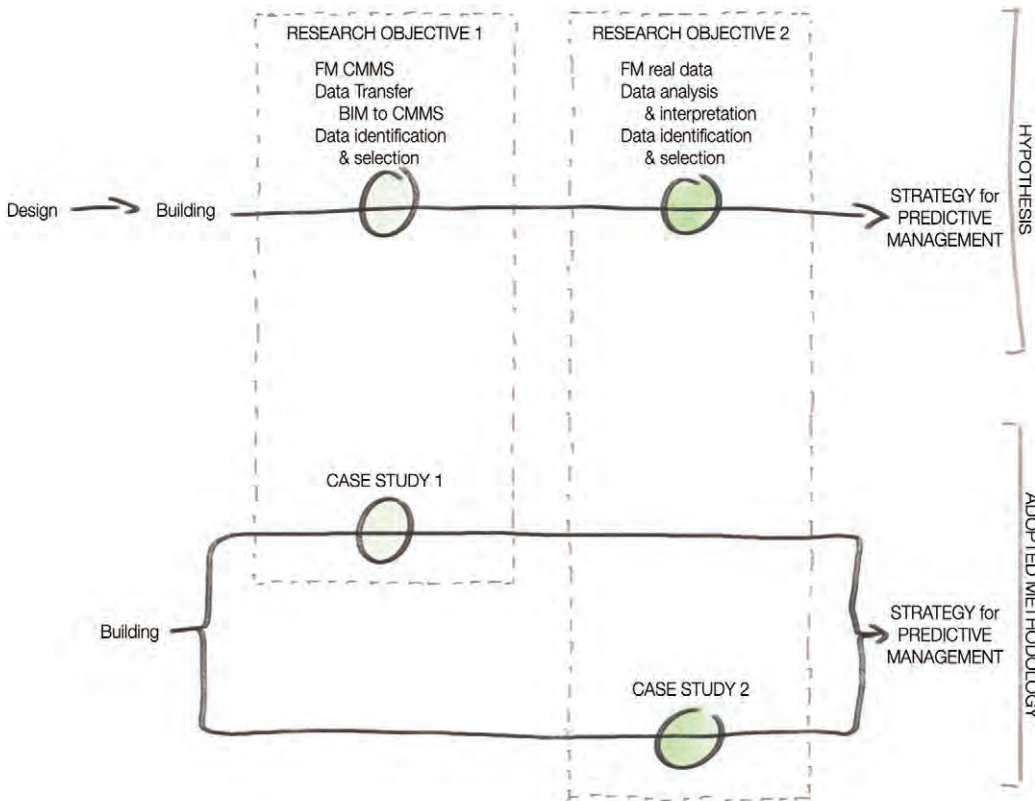


Fig. 1 | Diagram of the method implemented, complete procedure and case studies (credit: C. Scanagatta, 2022).

dazione del metodo: sono stati effettuati dei test sia per verificare l'effettivo funzionamento dello strumento sia per testare l'aggiornamento incrementale del database del CMMS a seguito di modifiche degli asset sia immobili sia mobili.

Il secondo obiettivo è stato affrontato e testato attraverso il caso studio di alcuni Laboratori medici e di analisi situati in Milano dove era la necessità, da un lato, di migliorare e ottimizzare i processi manutentivi con un approccio alla manutenzione predittiva o comunque finalizzato a intervenire tempestivamente al manifestarsi dei guasti, dall'altro, di utilizzare gli stessi dati per il monitoraggio in tempo reale allo scopo di migliorare la sostenibilità economica e ambientale delle diverse strutture, evidenziando eventuali comportamenti scorretti degli utenti. Anche relativamente al secondo obiettivo specifico è stato utilizzato un approccio in quattro fasi (Fig. 3), proponendo e applicando al caso studio una opportuna strategia gestionale che tiene in considerazione lo stato dell'arte e gli standard internazionali ed europei (ISO 41001:2018; EN 15331:2011). Nella prima fase sono stati definiti i dati necessari alla gestione dell'asset, rappresentativi non solo dei dati da integrare nel modello digitale, ma anche delle criticità da monitorare, la tipologia di sensori da installare, gli strumenti e le piattaforme da utilizzare per la raccolta, l'integrazione e la visualizzazione delle informazioni.

Una volta definiti gli obiettivi chiave del monitoraggio, e di conseguenza gli strumenti commerciali da utilizzare per attuare il monitoraggio, si è passati alla fase successiva. Nella seconda fase l'attività principale è stata la raccolta dati, avvenuta sia per mezzo della sensoristica installata sia attraverso i feedback degli utenti che interagiscono con l'edificio o le sue parti/spazi. In entrambi i casi è stato previsto un ambiente digitale centralizzato che favorisce l'analisi e la conservazione

nel tempo del dato. Le ultime due fasi, infine, hanno riguardato rispettivamente l'analisi dati e, quando necessario, l'attivazione della richiesta di intervento. In particolare nella terza fase sono stati analizzati i dati raccolti al fine di ottimizzare i processi di gestione degli interventi, valutando le soglie di alert preimpostate con cui attivare un intervento o le regole con cui attivare un intervento predittivo sull'asset. La quarta fase, che conclude il processo, è quella relativa all'intervento attivato in maniera tempestiva o anticipata e che ha permesso di valutare l'effettiva ottimizzazione di modalità e costi di gestione del sito tramite KPI (Key Performance Indicators) predefiniti. Più in dettaglio la Figura 4 mostra lo sviluppo del flusso informativo nell'applicazione del processo nei casi studio presi in considerazione. In questo caso il processo viene applicato nell'ambito della gestione della manutenzione, ma è comunque scalabile anche agli altri ambiti del Facility Management.

Risultati | L'applicazione del metodo al caso studio dell'Ospedale di Feltre ha previsto un lavoro iniziale di rilievo degli asset immobili e di censimento di quelli mobili per poter definire in ambiente digitale gli elementi spaziali (edifici, stanze, ambienti complesso di edifici) e riportare come i diversi asset mobili si relazionino con questi al fine della loro definizione all'interno del database CMMS. Questa attività, realizzata contestualmente alle altre attività della prima e seconda fase, ha prodotto la tassonomia come illustrata in Tabella 1. La logica di database del software CMMS richiama una struttura basata sulla gerarchia spaziale degli asset; infatti, gli asset mobili sono racchiusi all'interno di ambienti posizionati su un livello all'interno di un edificio che a sua volta può essere parte di un complesso di edifici. La stessa logica di collegamenti è presente anche nello schema IFC.

La tassonomia proposta rispecchia queste strutture spaziali e gerarchiche. In merito all'esito della terza fase, è stata definita una query di importazione (Fig. 5) che può essere implementata sia come strumento integrato nel software CMMS sia come tool esterno da richiamare. Il risultato finale del suo utilizzo rimane il medesimo: la creazione di record che popolano il database CMMS delle informazioni necessarie. La caratteristica fondamentale di tale query è la capacità, in fase di importazione dati nel database CMMS, di selezionare automaticamente dal file IFC completo, esportato dall'ambiente BIM, solo gli elementi utili ai fini manutentivi sulla base della tassonomia.

Infine, data la complessità e le molteplici interrelazioni esistenti all'interno di un modello BIM, al fine di ottimizzare lo svolgimento della procedura descritta, sono state definite delle indicazioni operative per i BIM designer² che consentano di integrare i modelli BIM con le informazioni utili per semplificare la selezione dei dati necessari alla manutenzione. Queste indicazioni, riassunte in Tabella 2, risultano essere semplici accorgimenti, da implementare in fase di realizzazione del modello digitale, che consentono di mantenere una logica coerente tra ambiente BIM, file IFC esportato e database CMMS. Un esempio è quello della prima riga della Tabella 2: all'interno dell'ambiente BIM il dato `lfcSpace` non viene definito automaticamente dalla creazione di muri e solai che definiscono visivamente una stanza, pertanto è necessario agire manualmente per trasformare uno spazio visivamente definito in uno che stabilisce un `lfcSpace` riconoscibile anche dal database CMMS.

La procedura sviluppata per la corretta impostazione delle informazioni ed esportazione-importazione e applicata al caso studio dell'Ospedale di Feltre, consente di produrre un database CMMS aggiornato che, oltre a essere popolato da informazioni relative alla struttura degli asset immobili, presenta sia dati spaziali che informazioni relative agli oggetti e alle apparecchiature presenti nei diversi ambienti. La presenza di informazioni spaziali collegate agli asset mobili consente una corretta e puntuale integrazione di sensoristica in tempo reale per la manutenzione predittiva, rendendo il software CMMS flessibile ed evitando l'utilizzo di ulteriori piattaforme.

Parallelamente alla definizione delle procedure atte a sviluppare un modello digitale quanto più completo possibile ai fini del FM, sono state definite anche le procedure (Fig. 6) per attuare le strategie di monitoraggio nel caso studio dei centri medici. In questo contesto i dati necessari sono stati estrapolati dalla documentazione tecnico-economica (report di intervento, fatture e segnalazioni utenti). I dati raccolti hanno permesso quindi di definire non solo le criticità da monitorare (sia spazi sia componenti impiantistiche), ma anche le modalità di monitoraggio e controllo, tempistiche di segnalazione e risoluzione e tipologie di intervento per ciascuna delle criticità emerse.

Una volta analizzate e definite le criticità del processo è stata impostata la specifica procedura di monitoraggio definendo quindi tipi di sensori da installare, ambienti e macchine da monitorare, frequenze di registrazione dati e gestione delle informazioni, inclusa la visualizzazione del modello e dei dati. In Figura 7 sono mostrati i vari step del processo che permettono, attraverso un sistema automatizzato di allarmi, la segnalazione

e gestione dell'intervento manutentivo pressoché in tempo reale. Il processo proposto è stato pensato in un'ottica di completa automazione. In un primo periodo è previsto il controllo da parte del building manager per valutare l'effettiva necessità dell'intervento, segnalare falsi allarmi dovuti a particolari condizioni ambientali o malfunzionamenti della sensoristica ed eventualmente anche la necessità di monitoraggio con ulteriori tipologie di sensori per ridurre i falsi positivi. Una volta consolidate le strategie di monitoraggio e ridotte a una soglia accettabile le possibilità di falsi positivi, la segnalazione di intervento può essere completamente automatizzata, azzerando quindi i tempi di analisi e inoltro della segnalazione da parte del Building Manager.

Nei centri medici monitorati sono stati presi in considerazione i parametri di temperatura, umidità, CO₂, TVOC e vibrazioni. La scelta di questi parametri è stata dettata dalle criticità emerse negli impianti HVAC delle diverse strutture, dai blocchi macchina non rilevati in tempo (con conseguenti disservizi e discomfort negli ambienti) e da alcuni macchinari medici critici che necessitano di operare in determinate condizioni ambientali per non incorrere in blocchi o danneggiamenti. La semplicità di monitoraggio e il costo ridotto della sensoristica necessaria sono aspetti cruciali in quanto consentono l'implementazione del sistema anche da parte di piccole e medie imprese.

Per la gestione dei dati e la visualizzazione delle informazioni sono state ipotizzate diverse soluzioni, in base anche alle esigenze specifiche e alla quantità e tipologia di dati da gestire, così come riportato in Figura 8: totalmente sviluppata in-house, (Soluzione 1) molto semplice, economica ma con il limite di poter gestire una ridotta quantità e tipologia di dati e con una gestione esterna del modello digitale BIM; totalmente esternalizzata (Soluzione 4), più onerosa in termini economici, ma la più stabile in quanto fatta sviluppare esternamente da tecnici informatici qualificati. Le soluzioni intermedie (Soluzioni 2 e 3) garantiscono una buona personalizzazione della piattaforma, l'integrazione del modello digitale e la gestione di diverse tipologie di dati con relativi output; possono essere sviluppate in-house, ma necessitano comunque di significative competenze tecniche nella programmazione e nella gestione di database esterni. La gestione dati proposta mira a essere non solo uno strumento di output grafico delle informazioni leggibile anche da un non addetto ai lavori, ma anche strumento di input dati da parte degli utenti finali dell'asset monitorato in maniera tale da semplificarne l'interazione e migliorarne potenzialmente la qualità dei servizi offerti.

Riflessioni e conclusioni | A seguito dei test sviluppati attraverso i casi studio, è possibile confermare il raggiungimento degli obiettivi iniziali e i vantaggi della strategia sviluppata, nonché le sue criticità. Infatti la strategia, risultata user-friendly e cost-effective nella creazione di database CMMS a partire da modelli BIM, allo stesso tempo è finalizzata a supportare sistemi per la raccolta di dati in tempo reale attraverso un sistema di sensoristica diffusa. La sua applicazione integrata può portare, nel lungo termine, a un sistema di gestione e manutenzione dell'edificio e di tutte le sue componenti tecniche e tecnologiche in grado di gestire approcci predittivi. Rimangono tuttavia

presenti diverse criticità, da risolvere con ulteriori studi e applicazioni.

Oltre ai risultati sinora descritti e al raggiungimento dell'obiettivo generale di cui sopra, la strategia sviluppata ha considerato e risolto anche altre problematiche esistenti e già presentate dalla letteratura. A tal proposito, un dibattito ancora aperto sul tema dei software CMMS riguarda il livello di dettaglio delle informazioni necessarie per la fase operativa (Hong, Hammad and Akbarnezhad, 2019; Russo Ermolli, 2019). Per ovviare a questa incertezza la procedura sviluppata è svincolata dal livello di dettaglio del modello BIM originale, consentendo all'utente di scegliere cosa sia necessario, in termini di informazioni, in base alle circostanze specifiche, senza modifiche alla procedura o allo strumento. È possibile fare un discorso analogo anche sulla quantità di macchine e ambienti da gestire. Monitorare in tempo reale un'eccessiva quantità di componenti e informazioni potrebbe richiedere un investimento che non è sempre sostenibile da parte di un'azienda medio-piccola, in particolare quando si deve in-

tervenire su strutture già esistenti adattate all'uso e non progettate ex-novo. Per questo motivo la definizione della strategia di monitoraggio prevede una fase di indagine preliminare che ne stabilisce le priorità. Con la procedura proposta, attraverso un'opportuna selezione e un'analisi integrata dei dati, si è riusciti a intervenire in maniera tempestiva sul guasto nel 90% dei casi. Si sono registrati alcuni falsi positivi, generati da erronea interpretazione dei dati e/o da inopportuno utilizzo e gestione degli spazi fisici.

Un'ulteriore criticità affrontata è relativa al rapporto tra gli aspetti spaziali dell'edificio e i sistemi funzionali presenti. La strategia, infatti, si occupa di analizzare anche la disposizione e le caratteristiche sia degli spazi legati agli asset sia la funzione specifica per poter identificare la sua destinazione d'uso, aspetto questo che ha consentito di effettuare un ulteriore passo avanti rispetto ai software attualmente in commercio. Infatti, stabilita la spazialità dell'edificio, è possibile definire quali siano le esigenze, i requisiti e le prestazioni degli asset immobili, per poter differenziare quan-

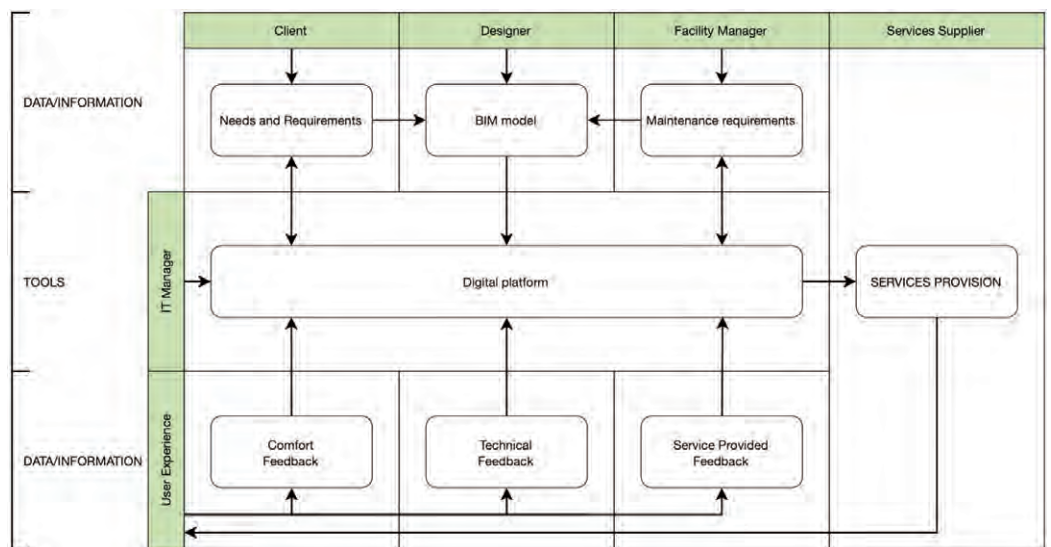
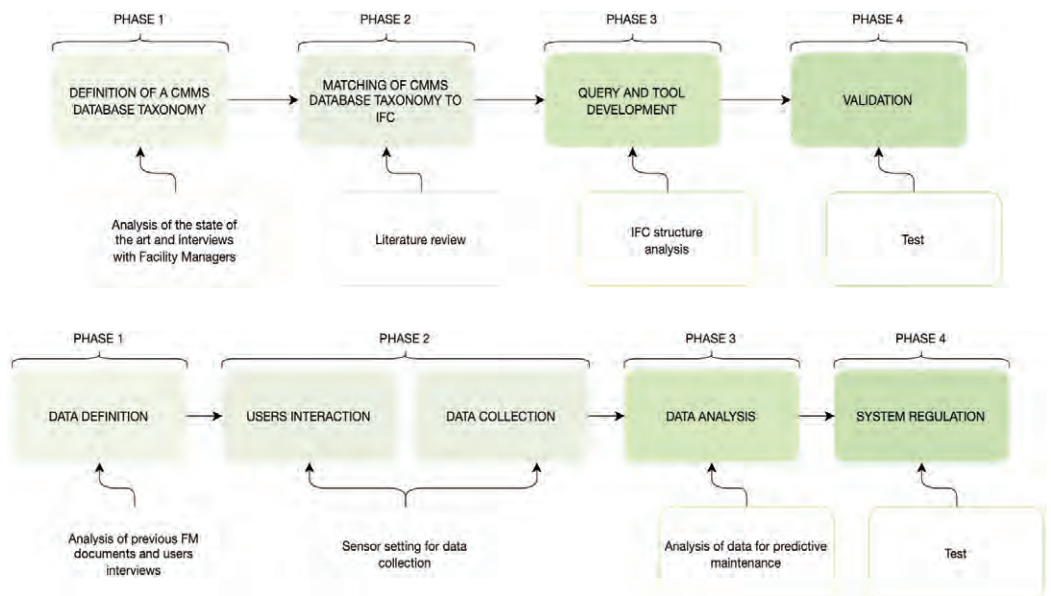


Fig. 2 | Four-phase approach used for the first research objective (credit: C. Scanagatta, 2022).

Fig. 3 | Four phases of the process to collect and manage data (credit: A. Mannino, 2022).

Fig. 4 | Details of the maintenance process based on real-time data (credit: A. Mannino, 2022).

CMMS Database Taxonomy	IFC Metadata
Building complex	IfcSite
Building	IfcBuilding
Floor	IfcBuildingStorey
Room	IfcSpace
Objects and Elements	IFCs* linked to IfcSpace

Tab. 1 | Taxonomy used for the definition of IFCs and the correspondence between IFCs and CMMSs – * refers to IFCs defining e.g. furniture, HVAC, lighting, medical equipment (credit: C. Scanagatta, 2022).

to avviene a livello di gestione di questi ultimi e quanto invece a livello di asset mobili. Infine vi è la possibilità di definire i dati da collegare al modello digitale con relative modalità di raccolta e analisi in tempo reale per controllare e ottimizzare la gestione dell'asset.

In conclusione la strategia definisce dapprima il 'contenitore', il tipo di dati e come trasferirli e restituirli al fine di creare un 'gemello digitale' su cui impostare un processo di ottimizzazione della fase di FM; successivamente, a seguito della definizione del 'contenitore', si valuta l'integrazione in tempo reale di informazioni legate agli asset attraverso l'utilizzo di sensori, il tutto nell'ottica di poter attuare una manutenzione predittiva con i dati acquisiti e analizzati. Quanto proposto permette di fornire informazioni utili ai diversi attori delle fasi d'uso e di manutenzione dell'asset. Pertanto, inserendosi nel contesto esistente, la ricerca qui presentata cerca di definire ulteriormente un ambiente centralizzato per il Facility Management. L'obiettivo è quello di evitare la frammentazione dei dati, con il conseguente rischio di perdere informazioni o riceverne di non corrette. La definizione di requisiti informativi e l'uso dello standard IFC per gestire una parte dell'informazione garantisce l'interoperabilità, spesso ostacolata da software e piattaforme proprietarie, aumentando le possibilità di interagire anche con altre tecnologie come la Realtà Virtuale, la Realtà Aumentata o la Mixed Reality. Creare una replica digitale accurata è fondamentale per poter poi interfacciarsi con queste tecnologie che hanno il potenziale di semplificare e velocizzare processi e interventi.

In merito alle criticità ancora da risolvere, quella principale è legata alla fase iniziale dell'intero processo. La procedura prevede infatti che sia noto fin dall'inizio che il modello BIM verrà utilizzato anche per la gestione della manutenzione, sebbene, per quanto desiderabile, non sempre è possibile. Infatti, se il modello digitale viene realizzato secondo le necessità di una specifica fase di lavoro, o di un determinato ambito, risulta successivamente difficile operare in termini di interoperabilità tra BIM e CMMS, poiché vi sarebbero un numero troppo elevato di dati e informazioni da integrare.

Un'altra criticità fa riferimento alla fase di uso del sistema durante la vita dell'edificio. Si tratta della formazione dell'utente che dovrà interfacciarsi con il modello digitale creato. Le possibili strategie di soluzione per quest'ultima sono due: 1) lo sviluppo di applicativi differenziati in base alle necessità delle diverse categorie di utente; 2) la definizione di diversi livelli di accesso in base alle

credenziali utilizzate. Nel primo caso i diversi applicativi presenteranno sia un'interfaccia utente specifica sia una preimpostazione dei dati a cui avranno accesso gli utenti; ciò consente di personalizzare l'intero ambiente di lavoro e analisi dati sulla base delle specifiche necessità. Per la seconda soluzione, occorrerà predisporre un modello con diversi livelli di accesso che, in base alle credenziali, permetta di accedere a dati e informazioni coerentemente al livello di riservatezza.

In entrambi i casi il manutentore potrà navigare nel modello digitale e aggiornare i dati sull'intervento effettuato direttamente dall'interfaccia utente, ma dovrà possedere una certa padronanza degli strumenti digitali proposti e utilizzati. Anche l'utente finale, che 'vive' l'edificio, dovrà essere formato sulla navigazione all'interno del modello al fine di restituire (ma anche ricevere) i diversi feedback per diventare parte attiva del processo e migliorare il proprio comportamento energetico. Tali criticità non sono strettamente legate alla procedura sviluppata, bensì derivano da un approccio attualmente esistente al tema della gestione del ciclo di vita completo degli edifici il quale, nella sua conformazione attuale, vede la presenza di più figure professionali che operano sulle diverse fasi senza che vi sia condivisione di informazioni e omogeneità di progetto. Tale approccio non è più sostenibile data la transizione digitale in atto; pertanto, l'indirizzo generale è quello di muoversi verso sistemi sempre più integrati e interconnessi, presupposto sul quale è stato sviluppato il lavoro di ricerca.

In merito alla trasferibilità degli esiti della ricerca, attualmente la strategia sarebbe difficilmente trasferibile al campo della costruzione. Questo perché il presupposto principale per l'applicazione della strategia, cioè che sia noto fin dall'inizio che il modello BIM verrà utilizzato anche per la gestione della manutenzione, non è compatibile con all'attuale ridotto utilizzo del BIM come sistema di progettazione integrata. È necessario però rimarcare come l'obiettivo generale del settore sia quello di avere un controllo sempre maggiore su ogni aspetto e fase del ciclo di vita, pertanto è possibile ipotizzare che, data questa tendenza, sarà possibile applicare, in tempi brevi, al contesto reale la strategia sviluppata.

La possibilità di implementare come pratica comune la strategia sviluppata, nella sua versione rifinita, consentirebbe di sfruttare le potenzialità del gemello digitale per sviluppare progetti, non solo architettonici, informati, capaci di integrare le informazioni e le necessità derivanti dall'intero ciclo di vita. I progettisti potrebbero dunque sce-

gliere le diverse soluzioni progettuali con una visione d'insieme maggiore per aumentare la sostenibilità e le performance degli edifici, e di ciò che li compone, anche in considerazione della loro gestione e manutenzione e non solo del loro fine vita. Altri sviluppi della ricerca sono orientati alla possibilità di semplificare e automatizzare ulteriormente la valutazione dei dati utili per l'inserimento in database CMMS, e di conseguenza ridurre le indicazioni per i BIM designer in fase di preparazione del modello digitale, e di applicare algoritmi di machine learning al fine di migliorare il rilevamento di un guasto o la necessità di un intervento, evitare falsi allarmi e, con un opportuno set di dati, implementare anche la manutenzione predittiva sui componenti critici.

The concept of 7D BIM (seven-dimensional building information modelling) and managing a building's lifecycle have become a necessary part of designing sustainable buildings and implementing construction strategies that cost less and use fewer materials (Chen et alii, 2019; Dawood and Sidle and Dawood, 2019; Karimi, Iordanova and St-Onge, 2021; Lemaire et alii, 2019). The need to pay careful attention to every aspect in a building's life cycle, including the phases of use and maintenance, inserts itself into the general perspective of design that respects the environment and is concerned about energy usage and protecting the natural ecosystem and existing buildings (Katsigarakis, Liliis and Rovas, 2021; Kazado, Kavgić and Eskicioglu, 2019; Mirzaei et alii, 2018). In this context, on the one side, the research presented in this paper investigates the importance of innovative facility management processes implemented through digital devices that enable the optimisation of consumption and resources. On the other, it proposes new solutions and tools that can support these processes. Both sides are explored through two case studies. The fundamental condition to optimise maintenance processes is for them to be integrated from the early planning stages, exploiting the potential of BIM tools to construct 'digital twins' that are populated with all the information necessary in both the construction phase and that of managing the building.

This may seem a foregone concept. However, in reality, using BIM tools in management and maintenance operations presents difficulties that arise because the various phases of the building's life cycle come with different needs (Halttula, Haapasalo and Silvola, 2020; Jung, Hakkinen and Rekola, 2018) and specialised software is required (Sibenik and Kovacic, 2021; Viklund Tallgren et alii, 2020; Watfa, Hawash and Jaafar, 2021). Hence, the first problem area is linked to the fact that, as stated by Shalabi and Turkan (2020, p. 359), «Current FM systems are lacking interoperability capabilities and are operated by different teams resulting in poor data coordination and management. In addition, facility managers face challenges in identifying problematic spaces in their facilities, isolating types of problems, and prioritizing the impact of those problems». The second problem area relates to non-management, in other words not collecting and analysing data in real-time. This information comes from the

building’s systems and environment and can be used to transform a component into a product that contains information to reconstruct, optimise and sometimes lengthen its life cycle.

With regards to the problem of interoperability, the IFC (Industry Foundation Classes) standard is the appropriate choice when exchanging data between different types of BIM software (Ait-Lamallam et alii, 2021; Laakso and Kiviniemi, 2012; Sampaio and Gomes, 2021), while the COBie¹ (Construction Operations Building Information Exchange) standard (East, 2007) is the most common format to exchange data from BIM to CMMS (Computerised Maintenance Management System). Currently, COBie is built on the IFC standard (East, Nisbet and Liebich, 2013) and is a MVD (Model View Definition) standard and a subset of the IFC scheme (Kristine Fallon Associates, 2013). More recently, Kumar and Ai Lin Teo (2020b) tested COBie to assess its benefits. Their study revealed that COBie, when implemented as a plugin to BIM software, has certain basic properties that make it unsuitable for small and medium-sized companies. More specifically, a) an inordinate amount of data must be input manually; b) its data compilation logics are not user-friendly; and c) there are no automatic control mechanisms to verify that data necessary for maintenance have been successfully transferred from BIM to CMMS, meaning that an operator must carry out further checks (Kumar and Ai Lin Teo, 2020a).

Another issue that appears in the post-import phase concerns updating the database after changes to the project or building. Abdalaal and Shukri (2020) have already observed that an up-to-date CMMS database is essential to manage maintenance correctly. Current systems, however, do not allow users to perform incremental updates, and instead require the total re-importation of data, with the obviously intense use of resources.

With regards to problems relating to managing information, in the past years, growing numbers of studies have explored the topic of integrating real-time data into a digital model of the building, and have suggested several innovations; this setting highlights the high potential for real-time data in optimising FM processes, especially in the areas of document management, security, logistics and managing energy in the building (Wong, Ge and He, 2018). However, other limits are dictated less by the solutions’ technological aspects and more by how they are implemented by the various stakeholders. It, therefore, makes strategic sense to define a monitoring procedure whereby users can understand what data need monitoring, how often and where the information gathered should be stored.

One of the main challenges that emerged from various studies on the topic of integrating real-time data into a digital model of the building is to define a standard to integrate and manage the data collected (Tang et alii, 2019). Nevertheless, a wireless sensor network comes with its own two problems, especially if implemented in existing buildings, namely, transmitting the signal and powering the devices. For the former, the number of devices needed to transmit the signal correctly can be substantially limited by the type of building or, depending on the number of sensors required, can affect the implementation costs negatively. For the latter, it is not always possible to connect

the sensors to the mains, making it technically problematic to collect data.

Starting from the assumptions and problems highlighted, the objective of the research was to develop a user-friendly and cost-effective strategy to create a CMMS database starting from BIM models and supported by processes to collect real-time data through a diffuse sensor system (DSS). The long-term objective is an integrated building management and maintenance system, plus all its technical and technological components, that can support predictive systems. The choice to develop a simplified procedure came out of the idea that small and medium-sized companies should have access to options that are useful in the phases of operations management. The practice is currently rather uncommon, as the tools already on the market are not economically viable for these companies. Therefore, the specific objectives of this research are to define procedures that can 1) transform an architecture project or a project to reclaim an existing building, defined in a BIM environment, into a digital twin that can be updated incrementally; and 2) integrate, within the CCMS environment, digital sensors and instruments that collect data in real-time, giving users a simplified visualisation of the data; in this way, even the least expert user would be involved in the management of the building. This procedure would also offer options to manage and visualise data gathered from the sensors.

Methodology and phases | In order to achieve our overall research objectives, both specific objectives had to be investigated separately. The time needed to build a working digital twin and the subsequent implementation of its connected sensor network made it impossible to test the entire procedure through a single case study. Research was thus subdivided into two parallel paths, and an ad hoc case study was identified for each field of investigation, consisting in one or more existing assets (Fig. 1). The process to identify the two case studies was restricted by the need to work

on similar topics so that the results could be compared and the research findings presented uniformly. The initial phase was common to both paths and consisted of an analysis of the facilities and the definition of the procedures to put in place. The applications were then customised to the needs and opportunities associated with the two case studies.

The first objective was developed and tested on-site at the Feltre Hospital building complex through a four-phase approach (Fig. 2). The case presented existing moveable and immovable property, and there was the need to create a digital twin to manage maintenance using evolved CMMS systems. The first phase involved defining a clear and shared, as far as possible, data structure for the CMMS database, together with the corresponding taxonomy to describe the spatial aspects of the building, so that the data structure would not have to be redefined in each specific case. Several existing CMMS software packages were thus reviewed to gather information on their data management logics, and several facility managers were approached to find out what they wanted from the new software and which aspects in current packages were necessary in practice.

The second phase was mainly a desk study and concentrated on matching the data structure as defined with the IFC standard, to map the IFC structure to the CMMS structure. This phase was necessary to identify which IFC fields should be used in the procedure to import data to CMMS, in that the IFC export from BIM tool proposes a very extensive dataset and this complete set is not necessarily useful. The third phase involved building a query based on the previously defined taxonomy to develop a tool to import IFC files into the CCMS as database records. The final phase was to validate the method. Tests were carried out to verify that the tool was working properly and to test that the CMMS database was updated incrementally after modifications to moveable and immovable assets.

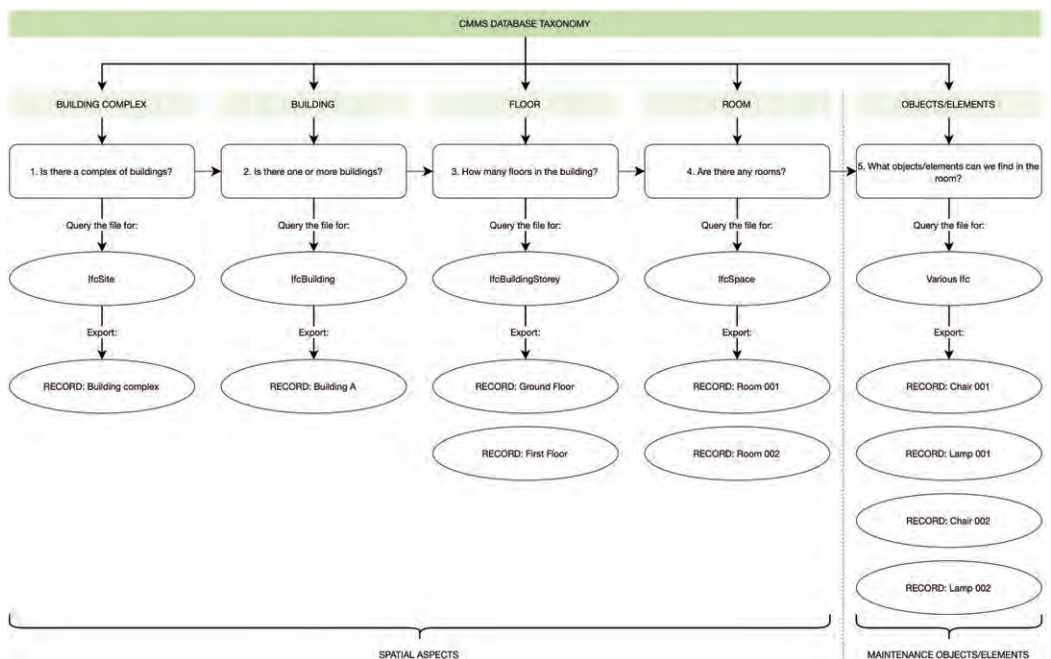


Fig. 5 | Diagram of the query used for the analysis and selection of IFCs (credit: C. Scanagatta, 2022).

CMMS Databases Needs	Drawing Rules for BIM Designers
Definition of IfcSpace	Use the 'zone' instrument to create defined spaces in the BIM model
Manage multiple buildings in the same IfcSite	Model each building in separate BIM file. Mandatory definition of the same IfcSite name within each model property to allow the identification of a shared GlobalID
Easiest management of Objects and Elements	Definition of a custom name for each category. Once the first custom name is defined (e.g. Chair 001) each object from that category will be automatically renamed by the software with the name followed by a progressive numbering
Database update	Combination of the custom name, to recognize elements subject to maintenance, and of its GlobalID, automatically assigned to each object by the BIM software, to update the database without having to re-import all data

Tab. 2 | Design rules for managing the BIM model (credit: C. Scanagatta, 2022).

The second objective was addressed and tested through a case study involving several medical and analysis laboratories in Milan, where they needed, on the one hand, to improve and optimise their maintenance processes, preferably through diagnostic maintenance, or at least by intervening rapidly as soon as a fault was detected. On the other hand, they wanted to use the data for real-time monitoring, in order to improve the economic and environmental sustainability of their facilities, and to highlight any improper user behaviour. A four-phase approach was also used for the second specific objective (Fig. 3). It involved proposing, and applying to the case study, a suitable management strategy that took into account both the state-of-the-art on the subject and European and international standards (ISO 41001:2018; EN 15331:2011). The data needed to manage the assets were defined in the first phase. These data had to be representative both of the data to integrate into the digital model and also of the critical issues to monitor, the type of sensors to install, the tools and the platforms used to collect data, and the integration and visualisation of information.

After the key monitoring objectives were defined, and with them the relative commercial monitoring tools, we went on to the next phase. In the second phase, the main task was to collect data. Data were collected from installed sensors and from feedback given by the users who interacted with the building and its parts and spaces. A centralised digital platform was used in both cases to analyse and store data over time. The last two phases concerned the data analysis and, when necessary, the activation of a request for intervention. In the third phase, in particular, the data collected were analysed to optimise the intervention management processes, assessing the pre-imposed alert thresholds to trigger an intervention or the rules in place to activate a preventive intervention on the asset. The fourth phase, concluding the process, concerned the activating of prompt or early interventions. Predefined KPIs (Key Performance Indicators) were used to assess whether the methods and the site management costs were optimised as expected. In greater detail, Figure 4 shows the progress of the information flow when the process was applied to the cases under study. In this case, the process is applied to maintenance management, but it can be scaled to other facility management areas.

Results | The method applied to Feltre Hospital involved an initial survey of the site and census of the immovable assets to frame the spatial elements in a digital environment (buildings, rooms, building complex areas) and how the various moveable assets interact with these, in order to define them within the CMMS database. This task was carried out at the same time as other work in phases one and two, and produced the taxonomy shown in Table 1. The database logics in CMMS software evokes the spatial hierarchy of the assets. Any immovable asset is located in a room on a floor in a building and that building, in turn, can be part of the building complex. The IFC scheme uses the same connection logics.

The proposed taxonomy mirrors these spatial and hierarchical facilities. As its outcome, the third phase produced a data import query (Fig. 5) which can be integrated into the CMMS software or implemented as an external tool accessed via a procedure call. The final result is the same, namely, to create records that populate the CMMS database with necessary information. A basic feature of this query is that, when importing data to the CMMS database, it is capable of automatically selecting from the complete IFC file (itself exported from the BIM environment) only the elements that are useful for maintenance purposes, based on the taxonomy.

Lastly, given the complexity and the many inter-relations within a BIM model and in order to optimise the running of the procedure described, we defined some practical rules for BIM designers², which suggest how to add useful information to the BIM models to simplify the selection of data necessary for maintenance. These rules are set out in Table 2; they are simple to implement when creating the digital model and help to retain logical coherence between the BIM environment, the exported IFC file and the CMMS database. An example is given on the first row in Table 2: in the BIM environment, IfcSpace is not defined automatically when creating the walls and ceilings that describe a room visually, and users have to intervene manually to transform a space defined visually into a space represented by an IfcSpace which the CMMS database can recognise.

Designers can use the procedure developed to configure the information and the import-export process correctly, which was applied to the Feltre Hospital case study, to produce an up-to-date

CMMS database. This database will be populated with information about the structure of the buildings and also contains spatial data and information about the objects and equipment in the various rooms and areas. By linking spatial information to moveable assets, sensor data can be integrated seamlessly in real time to enable diagnostic maintenance. As a result, the CMMS software is flexible and additional platforms are unnecessary.

In parallel with defining the procedures to create a digital model as complete as possible for FM purposes, other procedures were also defined (Fig. 6) to implement the monitoring strategies in the case study involving the medical centres. In this case, the required data were extrapolated from the technical and economic documentation (maintenance reports, invoices and user warnings). Using the data collected, as well as identifying the critical issues to monitor (both spaces and equipment components), we were able to define the monitoring and control modalities, the timing for reporting and clearing faults, and the type of maintenance for each critical issue.

After the critical issues in the process were analysed and defined, the specific monitoring procedure was configured. This meant specifying the types of sensors to be installed, the environment and equipment to monitor and the frequency with which to record data and manage information, including to visualise the model and the data. Figure 7 shows the various steps in the process. Fault reporting and maintenance are managed virtually in real-time through an automatic alarm system. The process was conceived in the perspective of total automation. The building manager must first check that the intervention is really necessary, record false warnings caused by particular environmental conditions or by malfunctioning sensors, and even whether other monitoring sensors are needed to reduce false positives. Once the monitoring strategies are consolidated, and false positives come under an acceptable threshold, the 'intervention required' procedure can be completely automated, cutting the analysis time to nothing and the building manager can forward the warning.

The parameters monitored in the medical centres related to temperature, humidity, CO₂, TVOC (total volatile organic compounds) and vibrations. These parameters were selected on the basis of the critical issues found in the HVAC (heating, ventilation and air conditioning) systems in the various buildings, machine breakages not discovered in time (causing system disruption or uncomfortable conditions on site) and the fact that some critical pieces of medical equipment can only operate under specific conditions to avoid breakage or damage. The simplicity of the monitoring and the low cost of the sensors are crucial aspects, meaning that even small and medium-sized companies can implement the system.

Four solutions were hypothesised to manage the data and visualise the information, based on specific requirements and the quantity and type of data to manage, as shown in Figure 8. Solution 1 is a totally in-house solution, and is very simple and inexpensive, but restricted by only being able to manage small volumes and typologies of data, and the digital BIM model has to be managed externally. Solution 4 is totally outsourced and is

more costly, but it is also the most stable, being developed externally by expert information technicians. Solutions 2 and 3 are intermediate solutions, with a high level of platform customisation, an integrated digital model, and cater for various types of data with the relative output. These last two solutions can be developed in-house, but the designers must have a good level of technical expertise in programming and managing external databases. Data management should not simply be a tool to produce a graphic output of the infor-

mation that even non-professionals can understand, it must also be a tool utilised by the asset's end users to input data, monitored to simplify interaction and potentially improve the quality of services offered.

Considerations and conclusions | Following the tests prepared during the case studies, we can confirm that we met our original objectives, and can outline the benefits of the strategy as well as its critical issues. The strategy to create a CMMS

database starting from a BIM model is both user-friendly and cost-effective. At the same time, it can support processes to collect real-time data through a diffuse sensor system. In the long-term, its application can lead to an integrated building management and maintenance system, plus all its technical and technological components, that can support predictive systems. Several critical issues do remain, however, and must be addressed through further studies and applications. Apart from the results described in this paper, and

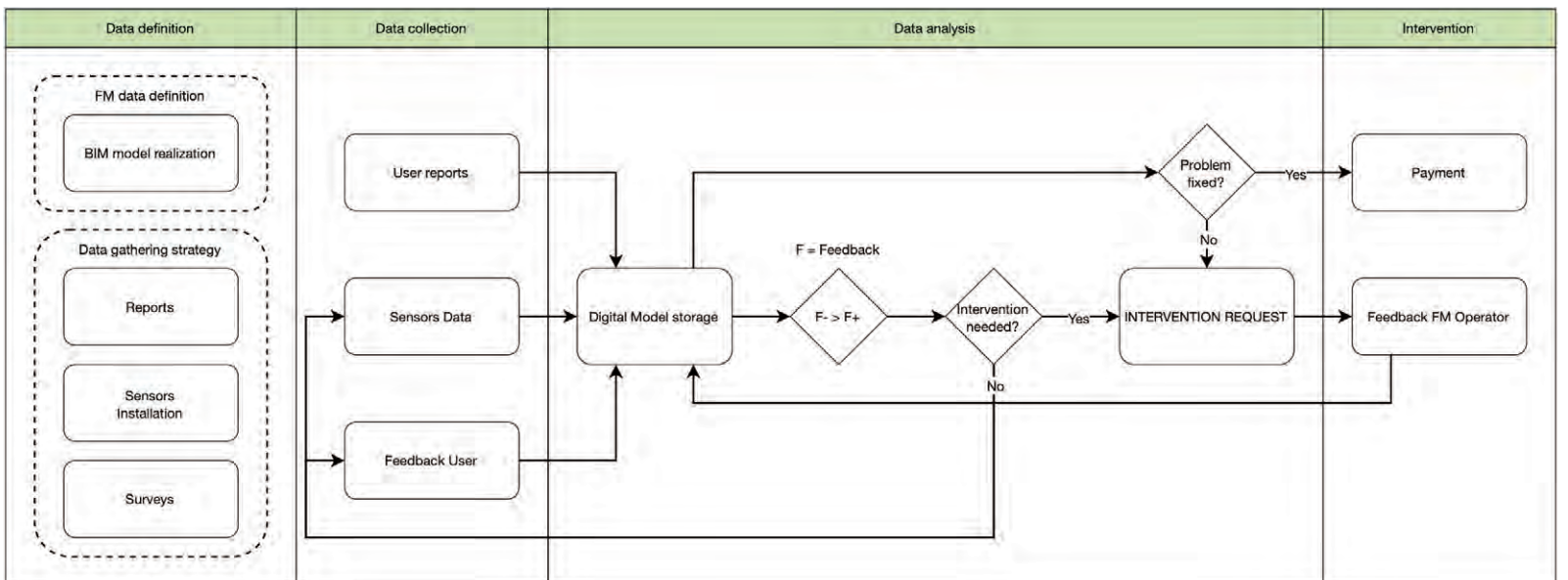
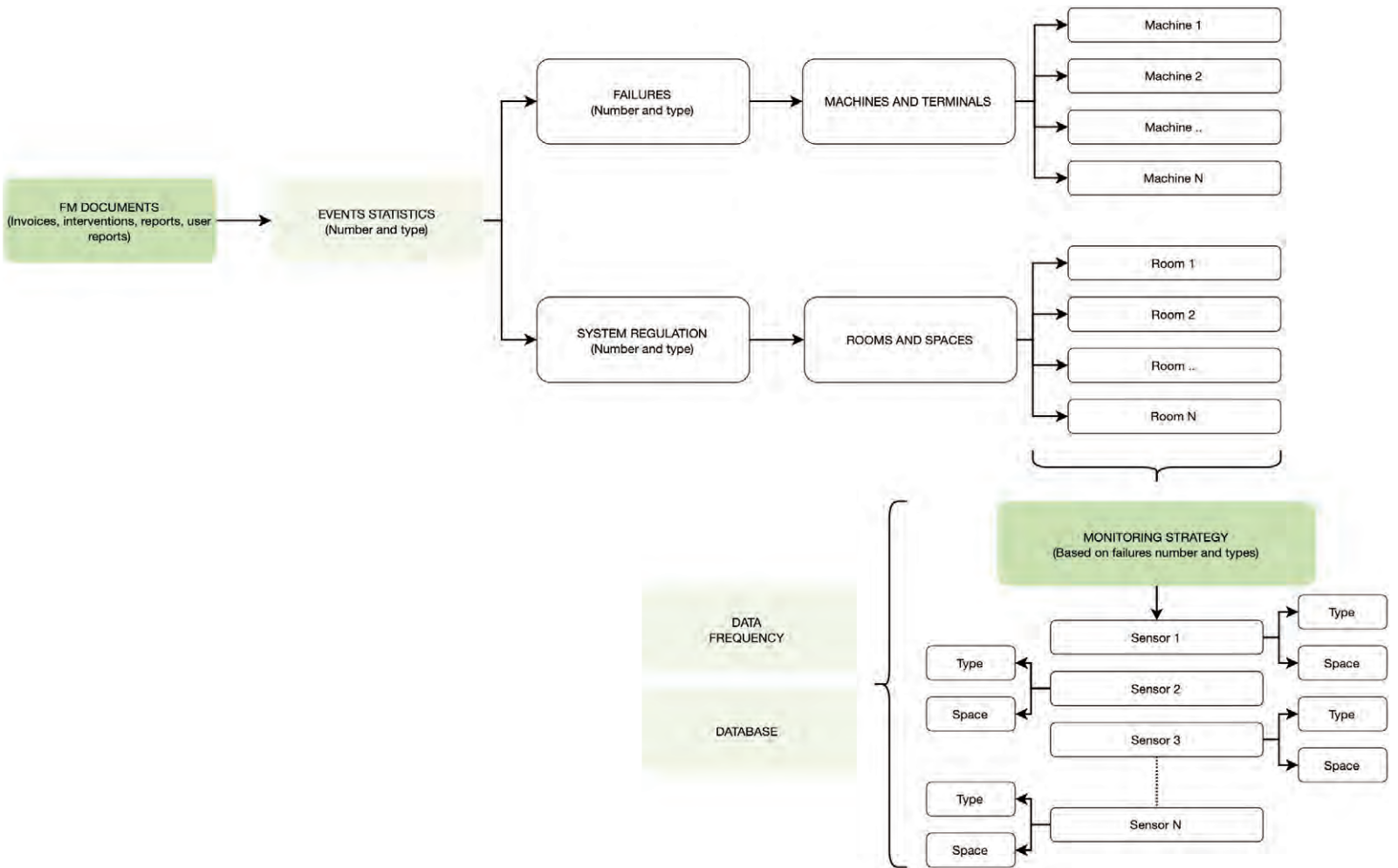


Fig. 6 | Procedure to implement the monitoring strategies (credit: A. Mannino, 2022).

Fig. 7 | Fault reporting and maintenance management process (credit: A. Mannino, 2022).

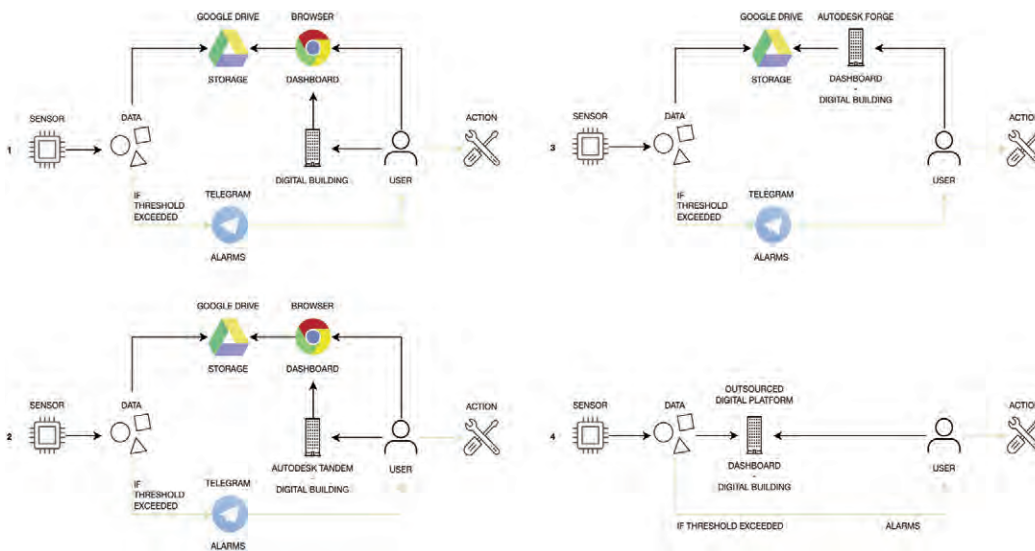


Fig. 8 | Data management solution options and graphic output (credit: A. Mannino, 2022).

the fact that our general objective described above has been achieved, the strategy developed in the study has taken into consideration and resolved other existing issues previously set out in the literature. One debate still open, on the topic of CMMS software, concerns the level of information detail necessary at the operational stage (Hong, Hammad and Akbarnezhad, 2019; Russo Ermolli, 2019). To get around this problem, the procedure presented here is de-coupled from the level of detail found in the original BIM model. Therefore, users can decide what information they need, on the basis of their particular circumstances, without having to alter the procedure or the tool. Similar considerations can be made on the quantity of machinery and rooms/areas to manage. Monitoring an excessive amount of components and information in real-time could mean a level of investment that small and medium-sized companies cannot always afford, especially when they have to work with existing facilities that have been adapted and were not purposely designed. For this reason, the process to define the monitoring strategy includes a preliminary survey to set the priorities before going ahead. Using the proposed procedure, by carefully selecting the data and analysing them in an integrated way, we were able to detect and manage a fault promptly in 90% of cases. Several false positives were recorded, although these were generated by data being interpreted incorrectly or by the improper use and management of physical spaces.

A further critical issue addressed in the study concerns the spatial aspects of the building and the systems currently in place there. An additional feature of the strategy is that it can analyse the layout and characteristics of the spaces linked to the assets, as well as the assets' specific functions, in order to identify their intended use. This particular aspect is a step forward compared to the software currently on the market. After specifying the building's spatial layout, the needs, requirements and performance of the immovable assets can be defined. The reason behind this is to separate what happens during the management of immovable assets from what happens during the management of movable assets. Lastly, there is the option to define which data to con-

nect to the digital model, with the relative modalities for data collection and real-time analysis, to control and optimise the assets' management.

In conclusion, the strategy first defines the 'container', the type of data, and how to transfer and return them to create a digital twin on which to build an optimisation process for the FM phase. After defining the 'container', the next step is to assess the real-time integration of information linked to the assets through sensors, all in a perspective of diagnostic maintenance based on using data acquired from the sensors and analysed. This procedure can provide useful information to the various actors involved in the phases of using and maintaining the asset. Therefore, by inserting the research presented here into the current context, we have tried to expand the definition of a centralised facility management platform. The objective is to avoid data fragmentation, with the ensuing risk of losing or receiving incorrect information. Defining the information requirements and managing part of the information through IFC standards ensures interoperability, which is often hindered when using proprietary software and platforms. Our proposal, thus, increases possible interaction with virtual reality, augmented reality, mixed reality and other such technology. The creation of an accurate digital twin is the essential starting point to then interface with these technologies, with their potential to simplify and speed up processes and interventions.

With regards to unsolved critical issues, the main problem is linked to the initial phase in the entire process. The procedure takes it as known from the start that the BIM model will also be used to manage maintenance. While obviously desirable, this is not always possible. If the digital twin is created according to the needs of a specific work phase, or in a specific environment, later BIM-CMMS interoperability will be difficult to achieve, as the volume of data and information would be too large to integrate.

Another critical issue associated with the system's use phase during the building's life is connected to the training of users expected to interface with the digital model. The problem can be managed through two possible approaches: 1) develop applications that vary according to the different categories of user; and 2) define different

access levels, with different user permissions. In the first solution, the applications will present a specific user interface and pre-set data, which all users can access. The entire work environment can be customised, and data will be analysed based on specific requirements. In the second solution, the model must include various access levels and, according to their access permissions, users will access data and information that match their security level.

In both cases, the maintenance technician has open access to the digital model and can update maintenance data directly from the user interface, but will need a certain level of expertise in the digital tools proposed and used. End users, who 'live' in the building, must be trained on how to navigate the model, to return (and receive) feedback and become active elements of the process, and improve their energy behaviour. These critical issues are not strictly linked to the procedure developed in this study, but derive from an existing approach to the topic of managing a building's complete life cycle. In its current configuration, this involves several professional figures who work on the various phases without sharing information and with no overall project uniformity. This approach is no longer sustainable given the digital transition currently taking place. Therefore, the general direction is to move towards ever-more integrated and interconnected systems, a prerequisite underpinning this research.

With regard to the transferability of the research findings, as of now, it would be hard to transfer the strategy to the construction field. The reason is that the main assumption for the strategy's application (that is, knowing that the BIM model will also be used to manage maintenance) clashes with the fact that, currently, there is a very low take-up on using BIM as an integrated design system. We must however mention that the general objective in the sector is for ever-greater control over every aspect and phase of a building's life cycle. It makes sense, therefore, to speculate that, given this trend, it will be possible to apply our strategy to the real world relatively soon.

If this strategy, in its finished version, can be implemented as a common practice, designers could exploit the potential of digital twins to develop well-informed projects (not only in the world of architecture), where information is integrated with needs arising from the entire life cycle. Designers choosing between various project solutions would see the big picture, and therefore understand how to improve the sustainability and performance of buildings and their constitutive elements. These decisions would take in the facilities' management and maintenance, and not only their end of life. Other research developments are centred on the possibility of simplifying and automating ever further the process of assessing useful data to be included in the CMMS database. The consequence here would be to reduce the specifications for BIM designers creating the digital model. Machine learning algorithms could also come into play to improve fault detection and the need for an intervention, avoid false warnings and, if with the right dataset, even use diagnostic maintenance on critical components.

Acknowledgements

This work is a combined effort and was written jointly by all four authors. In the study presented here, work on the first specific objective was led by teachers and researchers from the Department of Architecture and Arts at the Università Iuav di Venezia (Italy), and was made possible through a POR FESR 2014-2020 grant from Regione Veneto. PROMETEO Srl and GEMMO SpA provided support in the technical aspects and the tests. The second specific objective was developed by teachers and researchers at Politecnico di Milano, DABC Department: Doctorate (Scholarship on 'IoT and real-time data to improve energy use and facilities management') funded by Tekser (Milan) with the support of the Santagostino Medical Centre (Milan).

Notes

1) For more information on the Construction Operations Building Information Exchange (COBie), see: wbdg.org/bim/cobie [Accessed 21 September 2022].

2) For the complete definition of the BIM Designer under UNI EN ISO 19650:2019, see: store.uni.com/p/UNI11605808/uni-en-iso-19650-22019-285297/UNI11605808_EEN [Accessed 21 September 2022].

References

- Abdalaal, O. A. A. and Shukri, M. I. (2020), "Implementation of Computerized Maintenance Management System in Maintenance Workshop", in *International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology*, vol. 4, issue 9, pp. 100-103. [Online] Available at: doi.org/10.33564/IJEAST.2020.v04i09.010 [Accessed 21 September 2022].
- Ait-Lamallam, S., Yaagoubi, R., Sebari, I. and Doukari, O. (2021), "Extending the IFC Standard to Enable Road Operation and Maintenance Management through OpenBIM", in *International Journal of Geo-Information*, vol. 10, issue 8, article 496, pp. 1-27. [Online] Available at: doi.org/10.3390/ijgi10080496 [Accessed 21 September 2022].
- Chen, K., Chen, W., Ting Li, C. and Cheng, J. C. P. (2019), "A BIM-based location aware AR collaborative framework for facility maintenance management", in *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, vol. 24, pp. 360-380. [Online] Available at: itcon.org/2019/19 [Accessed 21 September 2022].
- Dawood, H., Siddle, J. and Dawood, N. (2019), "Integrating IFC and NPL for automating change request validations", in *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, vol. 24, pp. 540-552. [Online] Available at: itcon.org/2019/30 [Accessed 21 September 2022].
- East, B. W. (2007), *Construction Operations Building Information Exchange (COBIE) – Requirements Definition and Pilot Implementation Standard*, U.S. ARMY Corps of Engineers, Engineering Research Developmental Center (ERDC), Construction Engineering Research Laboratory (CERL), ERDC/CERL TR-07-30. [Online] Available at: erdc-library.erdcdren.mil/jspui/bitstream/11681/19704/1/ERDC-CERL-TR-07-30.pdf [Accessed 26 September 2022].
- East, B. W., Nisbet, N. and Liebich, T. (2013), "Facility Management Handover Model View", in *Journal of Computing in Civil Engineering*, vol. 27, issue 1, pp. 61-67. [Online] Available at: [doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000196](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000196) [Accessed 26 September 2022].
- Halttula, H., Haapasalo, H. and Silvola, R. (2020), "Managing data flows in infrastructure projects – The lifecycle process model", in *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, vol. 25, pp. 193-211. [Online] Available at: doi.org/10.36680/j.itcon.2020.012 [Accessed 26 September 2022].
- Hong, Y., Hammad, A.W.A. and Akbarnezhad, A. (2019), "Forecasting the net costs to organisations of building information modelling (BIM) implementation at different levels of development (LOD)", in *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, vol. 24, pp. 588-603. [Online] Available at: doi.org/10.36680/j.itcon.2019.033 [Accessed 26 September 2022].
- Jung, N., Hakkinen, T. and Rekola, M. (2018), "Extending capabilities of BIM to support performance based design", in *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, vol. 23, pp. 16-52. [Online] Available at: itcon.org/2018/2 [Accessed 26 September 2022].
- Karimi, S., Iordanova, I. and St-Onge, D. (2021), "Ontology-based approach to data exchanges for robot navigation on construction sites", in *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, vol. 26, pp. 546-565. [Online] Available at: doi.org/10.36680/j.itcon.2021.029 [Accessed 26 September 2022].
- Katsigarakis, K., Lilis, G. N. and Rovas, D. (2021), "A cloud IFC-based BIM platform for building energy performance simulation", in *Proceedings of the 2021 European Conference on Computing in Construction – Online eConference, July 26-28, 2021*, European Council on Computing in Construction. [Online] Available at: ec-3.org/publications/conferences/EC32021/papers/EC32021_177.pdf [Accessed 26 September 2022].
- Kazado, D., Kavgić, M. and Eskicioglu, R. (2019), "Integrating Building Information Modeling (BIM) and sensor technology for Facility Management", in *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, vol. 24, pp. 440-458. [Online] Available at: itcon.org/2019/23 [Accessed 26 September 2022].
- Kristine Fallon Associates (2013), *Assessment of Life Cycle Information Exchanges (LCie) – Understanding the Value-Added Benefit of a COBie Process*, U.S. ARMY Corps of Engineers, Engineering Research Developmental Center (ERDC), Construction Engineering Research Laboratory (CERL), ERDC/CERL CR-13-6. [Online] Available at: apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA586625.pdf [Accessed 26 September 2022].
- Kumar, V. and Ai Lin Teo, E. (2020a), "Development of a rule-based system to enhance the data consistency and usability of COBie datasheets", in *Journal of Computational Design and Engineering*, vol. 8, issue 1, pp. 343-361. [Online] Available at: doi.org/10.1093/jcde/qwaa083 [Accessed 26 September 2022].
- Kumar, V. and Ai Lin Teo, E. (2020b), "Perceived benefits and issues associated with COBie datasheet handling in the construction industry", in *Facilities*, vol. 39, issue 5/6, pp. 321-349. [Online] Available at: doi.org/10.1108/F-09-2019-0100 [Accessed 26 September 2022].
- Laakso, M. and Kiviniemi, A. (2012), "The IFC standard – A review of history, development, and standardization", in *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, vol. 17, pp. 134-161. [Online] Available at: itcon.org/2012/9 [Accessed 26 September 2022].
- Lemaire, C., Rivest, L., Boton, C., Danjou, C., Braesch, C. and Nyffenegger, F. (2019), "Analyzing BIM topics and clusters through ten years of science publications", in *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, vol. 24, pp. 273-298. [Online] Available at: itcon.org/2019/15 [Accessed 26 September 2022].
- Mirzaei, A., Nasirzadeh, F., Parchami Jalal, M. and Zamani, Y. (2018), "4D-BIM Dynamic Time-Space Conflict Detection and Quantification System for Building Construction Projects", in *Journal of Construction Engineering Management*, vol. 144, issue 7. [Online] Available at: [doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001504](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001504) [Accessed 26 September 2022].
- Russo Ermolli, S. (2019), "La digitalizzazione dei flussi informativi per la fase operativa – Il caso della Apple Developer Academy | Digital flows of information for the operational phase – The Facility Management of Apple Developer Academy", in *Techné | Journal of Technology for Architecture and Environment*, vol. 18, pp. 235-245. [Online] Available at: doi.org/10.13128/techné-7535 [Accessed 26 September 2022].
- Sampaio, A. Z. and Gomes, A. M. (2021), "BIM Interoperability Analyses in Structure Design", in *CivilEng*, vol. 2, issue 1, pp. 174-192. [Online] Available at: doi.org/10.3390/civileng2010010 [Accessed 26 September 2022].
- Shalabi, F. and Turkan, Y. (2020), "BIM-energy simulation approach for detecting building spaces with faults and problematic behavior", in *Journal of Information Technol-*
- ogy in Construction (ITcon)*, vol. 25, pp. 342-360. [Online] Available at: doi.org/10.36680/j.itcon.2020.020 [Accessed 26 September 2022].
- Sibenik, G. and Kovacic, I. (2021), "Interpreted open data exchange between architectural design and structural analysis models", in *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, vol. 26, pp. 39-57. [Online] Available at: doi.org/10.36680/j.itcon.2021.004 [Accessed 26 September 2022].
- Tang, S., Shelden, D. R., Eastman, C. M., Pishdad-Borzorgi, P. and Gao, X. (2019), "A review of building information modeling (BIM) and the internet of things (IoT) devices integration – Present status and future trends", in *Automation in Construction*, vol. 101, pp. 127-139. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.autcon.2019.01.020 [Accessed 22 September 2022].
- Viklund Tallgren, M., Roupé, M., Johansson, M. and Bosch-Sijtsema, P. (2020), "BIM-tool development enhancing collaborative scheduling for pre-construction", in *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, vol. 25, pp. 374-397. [Online] Available at: doi.org/10.36680/j.itcon.2020.022 [Accessed 26 September 2022].
- Watfa, M. K., Hawash, A. E. and Jaafar, K. (2021), "Using Building Information and Energy Modelling for Energy Efficient Designs", in *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, vol. 26, pp. 427-440. [Online] Available at: doi.org/10.36680/j.itcon.2021.023 [Accessed 26 September 2022].
- Wong, J. K. W., Ge, J. and He, S. X. (2018), "Digitisation in facilities management – A literature review and future research directions", in *Automation in Construction*, vol. 92, pp. 312-326. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.autcon.2018.04.006 [Accessed 22 September 2022].

L'AUTOMAZIONE DEL CENSIMENTO TECNOLOGICO URBANO

Il centro storico di Betlemme

AUTOMATION OF URBAN TECHNOLOGICAL CENSUS

The historical centre of Bethlehem

Elisabetta Doria

ABSTRACT

Il contributo riporta gli esiti di una ricerca sull'automazione del censimento di elementi tecnologici in ambito urbano a supporto della progettazione di un sistema di gestione e monitoraggio del Patrimonio architettonico. Lo studio si interessa di alcuni particolari elementi (i serbatoi idrici) presenti sulle coperture del centro storico di Betlemme e utilizza acquisizioni fotogrammetriche close-range come base di addestramento di modelli di Deep Learning. Il ciclo di vita dei modelli di Deep Learning, dalla fase di addestramento fino alla restituzione degli output e l'archiviazione di immagini e metadati è effettuato sfruttando la scalabilità di un'infrastruttura cloud. Il monitoraggio con ispezioni periodiche permette di confrontare condizioni differenti e valutare situazioni di criticità rilevando variazioni quali sostituzione, aggiunta e rimozione degli elementi ricercati. Il progetto ha l'obiettivo di definire un protocollo per automatizzare l'identificazione di elementi ricorrenti e monitorarli nel tempo.

The research proposal reports the outcomes of a research track concerning the automation of the architectural census of technological elements in urban environments, aiming at the development of a monitoring and management system for the built heritage. The proposal is focused on a set of specific elements (water tanks) stacked on the coverings of the historical centre of Bethlehem and leverages close-range photogrammetric acquisitions to train Deep Learning models. The model lifecycle management, from training to prediction and deployment, as well as the storage of both image data and metadata, is performed through the scalability of a Cloud enterprise architecture. Periodical scheduled monitoring enables comparisons across different periods, allowing the detection of modifications, removals, and additions, therefore identifying the insurgence of potential criticalities. The goal of the project is the definition of a protocol to automate the identification of recurrent elements and monitor their evolution through time.

KEYWORDS

fotogrammetria, Betlemme, monitoraggio urbano, riconoscimento di oggetti, censimento architettonico

photogrammetry, Bethlehem, urban monitoring, object recognition, architectural census



Elisabetta Doria is an Architect/Engineer and PhD Candidate at the Department of Civil Engineering and Architecture, University of Pavia (Italy). Her research activity concerns operational protocols for the preservation of buildings in historic, monumental and UNESCO sites for the enhancement of architectural and landscape heritage through the management of digital databases. E-mail: elisabetta.doria@unipv.it

Il contributo illustra gli esiti di una ricerca per l'automazione del censimento di elementi tecnologici e architettonici in ambito urbano tramite tecniche di Object Detection finalizzate a mettere a punto un sistema per la gestione del Patrimonio architettonico. L'acquisizione di informazioni tecnologiche, costruttive e materiche sul Patrimonio architettonico costituisce un'importante fase nel processo di conservazione, poiché la 'documentazione integrale' del Patrimonio stesso consente di guidare con maggiore consapevolezza le attività di gestione e di valorizzazione (Gasparoli, 2012; Montella, 2009). In particolare, gli strumenti UAV (Unmanned Aerial Vehicle), insieme alle tecnologie di post-produzione per la generazione di gemelli digitali, consentono di sviluppare metodi di monitoraggio innovativi in cui la presenza degli operatori sul campo può essere notevolmente ridotta in favore di una maggiore sicurezza sul lavoro e ottimizzazione dei costi di gestione e manutenzione.

L'ambito di indagine è circoscritto alle coperture del centro storico della città di Betlemme (Fig. 1) e, in particolare, all'analisi delle cisterne d'acqua a uso civile presenti sui tetti. La mappatura di queste, a partire dalle acquisizioni fotogrammetriche close-range da UAV, diviene di particolare importanza in quanto esse costituiscono elementi di carico su edifici storici in territorio sismico (Fig. 2). L'obiettivo è quello di ottenere un prodotto digitale informativo facilmente fruibile dai tecnici della Municipalità di Betlemme per monitorare gli sviluppi dell'edificato della città e connettere successivamente questi dati a ulteriori informazioni acquisite sul campo relative allo stato di conservazione degli edifici. La ricerca proposta si inserisce nel contesto del progetto di cooperazione e ricerca '3D Bethlehem – Management and control of urban growth for the development of Heritage and Improvement of life in the city of Bethlehem' cofinanziato da AICS e coordinato dal Dipartimento di Ingegneria Civile e Architettura dell'Università di Pavia (Parrinello, 2019).¹

Il Progetto, avviato nel 2018 e concluso nel gennaio 2020, ha visto lo sviluppo di un rilievo digitale, della schedatura e della modellazione digitale degli edifici del centro storico per la realizzazione di uno strumento tridimensionale GIS dal quale monitorare gli interventi sull'edificato. Le numerose attività di rilevamento fotogrammetrico close-range hanno prodotto un dataset di oltre 9.000 immagini delle coperture, georeferenziate, acquisite con strumentazione UAV quale DJI Phantom 4 PRO, DJI Mavic, DJI Mavic Mini (Parrinello and Picchio, 2019; Picchio, 2019). Tale dataset è stato utilizzato come base per la sperimentazione qui proposta, autofinanziata e sviluppata a conclusione del progetto 3D Bethlehem in accordo con il responsabile scientifico Prof. Sandro Parrinello (Fig. 3).

La sperimentazione ha visto l'utilizzo dei dati fotogrammetrici close-range delle coperture come base di addestramento di modelli di Deep Learning. Questi modelli necessitano di dataset massivi per convergere, ovvero per raggiungere uno stato in cui il risultato si assesta entro un intervallo di errore paragonabile al valore finale. La scelta del dataset è stata effettuata a seguito della compilazione della schedatura per la strutturazione del sistema informativo GIS, da cui è emersa la complessità urbana e le criticità legate alle coperture (Doria, 2022). L'obiettivo è stato quello di attivare un pro-

cesso di automazione del censimento degli elementi tecnologici di copertura, volto a soddisfare la necessità di monitoraggio e di azioni di intervento programmatico sul Patrimonio. Gli elementi tecnologici scelti per questa prima sperimentazione sono le cisterne d'acqua a uso civile presenti in maniera estensiva e non regolamentata sulle coperture del centro storico. Le cisterne d'acqua sono un sistema di immagazzinamento particolarmente prezioso nei periodi di razionamento dell'acqua ma, allo stesso tempo, sono una importante criticità a livello urbano: esse rappresentano elementi di carico concentrato sul 69,3% delle coperture degli edifici censiti e sono posizionate senza le opportune verifiche strutturali compromettendo l'integrità degli edifici in un territorio sismico (Abueladas et alii, 2021; De Marco, 2022).

Il caso di studio | Le cisterne diffuse nel centro storico di Betlemme e nel territorio circostante si suddividono in differenti categorie per dimensione e materiale. Per la ricerca, le cisterne sono state catalogate e raggruppate in tre macrocategorie (Fig. 4): cisterne cilindriche in materiale plastico di fattura recente e con un buono stato di conservazione (54%), cisterne metalliche rettangolari e cisterne metalliche cilindriche di fattura meno recente e in peggiore stato di conservazione (46%)². Durante le fasi di approvvigionamento d'acqua, che avviene in maniera non costante e solo in specifici giorni, le cisterne in cattivo stato di conservazione poste sui tetti e che presentano problemi di controllo del flusso hanno perdite d'acqua che fluiscono sulle facciate degli edifici e sugli impianti presenti lungo il percorso dell'acqua. Il flusso di acqua causa patologie negli edifici quali crescita di vegetazione – sia intensiva che estensiva, in base alla posizione e allo stato d'uso dell'architettura – e aree umide con evidenti alterazioni del materiale della facciata.

Il territorio della città di Betlemme ha una morfologia collinare e lo stesso centro storico è caratterizzato sia da strade carrabili ripide che da numerose scalinate pedonali che hanno funzione di collegamento tra i quartieri posti su livelli diversi della collina. Questa morfologia fa sì che le cisterne posizionate sulle coperture siano visibili in tutta la città, tanto quelle poste su edifici di recente costruzione quanto quelle su edifici storici. Il posizionamento delle taniche in queste due classificazioni di edifici – recenti e storici – è variabile; negli edifici di recente costruzione le cisterne sono collocate in copertura secondo una maglia regolare; negli edifici storici, che hanno invece coperture voltate con estradosso visibile e una morfologia complessa tipica della tipologia abitativa locale³, sono disposte in maniera disordinata. In molti di questi edifici storici la copertura viene inoltre utilizzata come luogo di stoccaggio di detriti e scarti, rendendo complessa la visibilità delle cisterne e la loro manutenzione.

Stato dell'arte | Il processo analitico di comprensione del contesto urbano è oggi connesso alla costruzione di banche dati affidabili volte a sviluppare da un lato strategie di gestione del Patrimonio Storico, dall'altro la comunicazione e fruizione virtuale degli spazi digitalizzati. I centri storici conservano le informazioni relative ai numerosi eventi che hanno interessato la città nel corso degli anni definendo un insieme di dati eterogeneo e varia-

bile che può e deve essere sistemizzato per una corretta gestione (Bocconcino and Manzone, 2019). L'aumento delle informazioni sul processo decisionale pubblico ha fatto emergere la necessità di adottare nuove tecnologie e tecniche di gestione delle informazioni. Le Tecnologie dell'Informazione e della Comunicazione (ICT), con il loro rapido sviluppo, influenzano il quadro decisionale se applicate alla gestione pubblica con l'obiettivo di realizzare strumenti di monitoraggio per strategie gestionali all'avanguardia (Kouziokas and Perakis, 2017).

Lo sviluppo tecnologico dei metodi di acquisizione di dati ha permesso di semplificare e accelerare la raccolta di grandi quantità di informazioni e metadati, che possono essere collegati tra loro per costruire e arricchire dataset massivi. Se i processi inferenziali per la conoscenza del Patrimonio partono dalle informazioni acquisite, è anche vero che la raccolta di dati non genera conoscenza senza un processo capace di individuare ed esplicitare le correlazioni tra le variabili. I computer possono utilizzare la crescente quantità di informazioni non ordinate definendo un nuovo modo di produrre conoscenza basato sull'identificazione, a priori o a posteriori, di pattern ricorrenti e correlazioni all'interno dei dati. In questo contesto diventa cruciale lo sviluppo di ricerche legate all'Intelligenza Artificiale (IA), termine coniato dal Professor John McCarthy e definito come «[...] the science and engineering of making intelligent machines» (McCarthy, 2007, p. 2) che oggi comprende un insieme differenziato di tecniche e metodi con l'obiettivo di automatizzare le capacità cognitive (Corea, 2019).

Fin dai suoi esordi la ricerca sull'IA si è concentrata sulla creazione di modelli che simulano le dinamiche dell'intelligenza umana, basati sul confronto e la rielaborazione di stimoli esterni, che possono essere classificati in base alle principali direzioni di ricerca attive (Buratti, Conte and Rossi, 2021). In particolare l'apprendimento automatico è un termine che racchiude molteplici tecniche e approcci; questi permettono di migliorare le prestazioni di un determinato algoritmo nell'identificare pattern nei dati di input, in modo non dissimile da come il cervello umano apprende e perfeziona una nuova capacità.

Le tecniche di apprendimento basate su reti neurali, modelli di Deep Learning (DL) che presentano connessioni casuali tra elementi computazionali le cui relazioni vengono perfezionate tramite apprendimento, possono gestire casi d'uso di complessità crescente all'aumentare della complessità computazionale e al numero di interconnessioni delle reti stesse (Mishra, 2021). La capacità di questi approcci di scalare, ossia di lavorare quantità crescenti di dati, li rende particolarmente adatti a lavorare con dataset massivi, sia di dati strutturati (tabelle, numeri) sia non strutturati (linguaggio naturale, immagini). La branca delle ICT che ha come obiettivo l'estrazione di informazioni dalle immagini è la Computer Vision che interseca la IA in tutte quelle applicazioni in cui la capacità di apprendimento e di gestione di dati non strutturati permette di risolvere problemi complessi, come la segmentazione o l'identificazione di oggetti in immagini.

Il riconoscimento automatico degli elementi tecnologici, sviluppato nella presente ricerca, si basa sull'Object Detection, una branca della Com-



Fig. 1 | UAV photographic images of Bethlehem's Old Town showing the morphological complexity of the urban settlement (credit: '3D Bethlehem' Project, E. Doria, 2022).

puter Vision che permette di identificare oggetti nelle immagini. Il compito dell'algoritmo implementato è duplice: isolare l'oggetto di interesse in una scena anche complessa e poi identificare l'oggetto isolato con la classe corretta. A partire dai primi studi e utilizzi delle Convolutional Neural Networks – CNN (Lecun and Bengio, 1998; Cosovic and Jankovic, 2020), i modelli di DL sono diventati lo standard per le alte prestazioni raggiunte (Redmon et alii, 2016). In particolare, è stato utilizzato AutoML, una famiglia di modelli e approcci di feature engineering che sfruttano tecniche di ensemble e transfer learning per consentire una costruzione più rapida di modelli di Machine Learning (ML) e che spingono verso una maggior democratizzazione dell'Intelligenza Artificiale (He, Zhao and Chu, 2021).

La gestione del dataset fotografico, potenzialmente di dimensione crescente, e la complessità computazionale intrinseca del lavoro con immagini pongono un vincolo non trascurabile agli approcci disponibili. Per una gestione on-premises con un dataset crescente, le risorse di archivio e la potenza di calcolo disponibili devono essere ampliate continuamente acquistando nuovo hardware. La ricerca vuole evitare questa criticità utilizzando non un'infrastruttura fisica ma una di Cloud Computing come Integrated Machine Learning Platform, che permette l'astrazione dalla potenza di calcolo disponibile in loco, eliminando i limiti imposti dall'hardware fisico (Rivera, 2020).

Ricerche correlate | Le tecniche di Object Detection precedentemente illustrate sono state sviluppate per apprendere il riconoscimento di un'entità, sulla base di dati inseriti, e per restituire previsioni. A partire dai dati immagini, tre sono gli obiettivi principali che vengono perseguiti: la classificazione, il riconoscimento e la segmentazione (Xiao et alii, 2020). Gli approcci allo sviluppo di questi obiettivi sono applicati in letteratura in differenti ambiti e sono ormai riconosciuti come strumento di supporto per la gestione e la documentazione dei Beni Culturali e per la pianificazione urbana (Li et alii, 2020).

In ambito urbano è stata verificata l'utilità dell'utilizzo di questa tecnologia per il monitoraggio di situazioni di criticità quali infrastrutture e cantieri (Dandabathula et alii, 2019; Wang et alii,

2022), gestione dei rifiuti urbani (Majchrowska et alii, 2022), per il controllo dell'adempimento dei regolamenti edilizi (Cunha et alii, 2021) e il monitoraggio ambientale e agricolo (Carbone et alii, 2022). Sono riscontrabili, inoltre, casi di applicazione con risultati ad alta prestazione nel campo della Patrimonio Culturale costruito, sia per l'individuazione di Beni non ancora identificati tramite immagini satellitari e close-range (Due Trier, Reksten and Løseth, 2021) sia per interventi su Patrimonio già documentato (Monna et alii, 2021; Zou et alii, 2019; Hatir and Ince, 2021) come supporto alla scelta delle pratiche di intervento.

Il presente contributo pone l'attenzione sull'utilizzo delle tecniche di Object Detection per la pianificazione e gestione del territorio urbano utilizzando piattaforme cloud e con tecnologie open source, intersecando l'ambito di controllo dell'esistente in relazione ai temi di sicurezza strutturale e impiantistica. I modelli di machine learning utilizzati e i flussi per la loro gestione, basandosi su tecnologia open source quali librerie Python e Kubeflow, sono esportabili e condivisibili con collaboratori esterni alla piattaforma. I collaboratori esterni, sia tecnici che fruitori come Università, aziende e municipalità, possono quindi avere a disposizione i modelli esportati utilizzandoli su infrastrutture cloud differenti da quella di sviluppo, facilitando la collaborazione tra realtà differenti sia nella fase di implementazione sia nella fase di utilizzo finale, oltre che poter fruire di modelli preaddestrati esposti via web tramite l'Interfaccia di Programmazione dell'Applicazione (API).

Metodologia e fasi della ricerca | Per strutturare un processo di censimento automatico ripetibile è stato necessario disporre di immagini georeferenziate. Per fare questo, oltre che preferire l'utilizzo di piani di volo da UAV (DJI Phantom 4 PRO), si è scelto di utilizzare come base per il riconoscimento delle immagini il fotopiano delle coperture correttamente scalato e georeferenziato.

La prima fase della ricerca, sviluppata a partire dai dati acquisiti nella campagna di rilievo del progetto 3D Bethlehem, ha riguardato l'analisi dei dati prodotti dall'acquisizione fotogrammetrica close-range delle coperture e la post-produzione dei dati per ottenere il fotopiano dell'area di interesse. Il modello Structure from Motion (SfM) ottenuto,

da cui è stata esportata l'ortoimmagine delle coperture (Picchio, 2020), è stato realizzato con piani di volo pianificati dall'operatore⁴ con acquisizioni zenitali e inclinate sui 4 lati di ogni area per un totale di 5 piani di volo per le aree di minore dimensione (Figg. 5-7). I modelli fotogrammetrici ottenuti sono stati scalati metricamente utilizzando come sistema di riferimento la nuvola di punti realizzata con Terrestrial Laser Scanner (TLS) – Faro CAM2 S150. Il fotopiano georeferenziato è stato utilizzato come base per il riconoscimento automatico delle cisterne; da questo è possibile riprodurre a intervalli temporali scadenzati la stessa immagine, con caratteristiche di ripresa ripetibili laddove diviene necessaria una nuova campagna di acquisizione.

La seconda fase della ricerca è relativa alla scelta dell'infrastruttura su cui svolgere i test. Per procedere con l'addestramento dei modelli è stata utilizzata un'infrastruttura cloud, per garantire la scalabilità del prodotto: l'infrastruttura cloud, costruita sulla piattaforma enterprise Google Cloud Platform, permette una gestione end-to-end del dato. Questo processo parte dalla ingestione delle immagini, input, passando alla costruzione di dataset, alla popolazione di database, all'addestramento e deployment dei modelli per giungere alla fruizione finale del dato, output (Fig. 8). L'infrastruttura che supporta questo progetto è completamente serverless, ovvero al presentarsi della necessità è possibile aggiungere delle macchine virtuali per supplire alla eventuale mancanza di storage o potenza di calcolo, adattando e costruendo l'architettura su misura in base al mutare delle necessità del caso di studio.

Nel caso della Object Detection, facente largo uso di reti neurali convolutive in cui una sliding window viene applicata a una porzione di immagine, la complessità cresce all'aumentare del numero e della risoluzione delle immagini di input. Il dato processato da questi layer convolutivi serve ad alimentare gli stadi successivi delle reti fino ad arrivare al classificatore finale, che attribuirà l'appartenenza o meno di una immagine ad una delle classi identificate.

Nella terza fase della ricerca è avvenuta la scelta e l'addestramento dei modelli. I modelli di Deep Learning sono costruiti a livelli, che sono da intendersi come strutture di neuroni, funzioni matematiche che rappresentano la reazione della rete agli input, e interconnessioni, che descrivono le relazioni tra neuroni dello stesso layer e tra i layer adiacenti (Fig. 9). L'addestramento delle reti è avvenuto tramite la tecnica di retro-propagazione dell'errore, in cui il risultato viene confrontato con le etichette del dataset, propagando una correzione che modifica la struttura della rete stessa e con l'obiettivo di minimizzare l'errore all'iterazione seguente. Le iterazioni successive di questo processo permettono al modello di convergere stabilizzandosi verso una struttura in grado di risolvere con successo il problema, che in questo caso è l'identificazione nell'immagine delle cisterne. Le fotografie da UAV vengono caricate sui contenitori virtuali, detti bucket, dell'infrastruttura e vengono etichettate manualmente costituendo il dataset taggato attraverso gli strumenti di Vertex AI, piattaforma di Machine Learning Lifecycle Management (Lakshmanan, 2022).

Per taggare il dataset le fotografie sono state etichettate manualmente secondo il seguente

procedimento: tramite Vertex AI sono state riconosciute tutte le cisterne che erano visibili nelle fotografie, evidenziandone i perimetri con dei riquadri di delimitazione; a ogni riquadro di delimitazione è stata associata l'etichetta che classifica il contenuto in base a cosa è, alla forma e al materiale. Gli elementi tecnologici sono stati etichettati secondo le seguenti categorie: cisterne metalliche cilindriche, cisterne metalliche con forma di parallelepipedo, cisterne in plastica cilindriche e parabole metalliche. L'etichettatura delle foto fornisce la soluzione nota ai modelli

(Fig. 10), ovvero ciò con cui avviene il confronto nella fase di test per ottenere i valori della performance. Le immagini da UAV, che permettono di osservare le cisterne in prospettive differenti, consentono l'etichettatura delle cisterne da differenti punti di vista.

Questo processo, sebbene possa apparire scontato, aumenta notevolmente la riconoscibilità delle cisterne e permette di mitigare l'effetto di occlusione della scena dovuto alla presenza di detriti sui tetti, fornendo ai modelli di Deep Learning differenti prospettive dei medesimi oggetti. Sono

stati identificati ed etichettati 6.257 elementi tecnologici su 41 edifici in fotografie da UAV. La scelta di etichettare anche le parabole oltre che le cisterne è stata dettata dalla volontà di agevolare l'identificazione. Se viste dall'alto esse sono simili alle cisterne metalliche cilindriche e la loro etichettatura permette di ottimizzare il modello ed effettuare verifiche su falsi positivi e negativi.

La quarta fase della ricerca riguarda la sperimentazione dei modelli addestrati sul dataset etichettato. Il test e il deployment, ovvero la distribuzione del modello di machine learning, sono

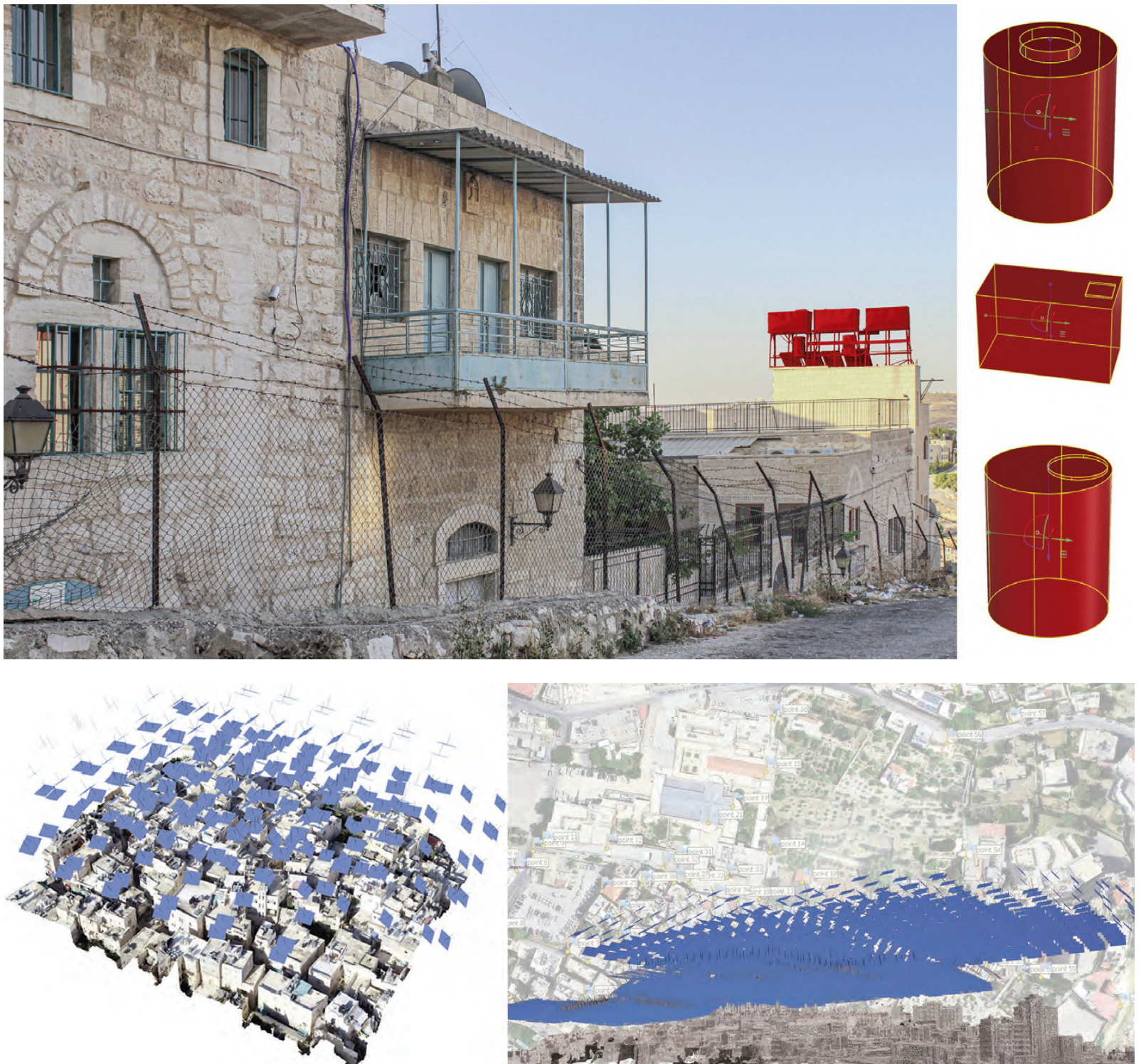


Fig. 2 | Example of buildings with flat roofs, with visible cisterns and accumulations of objects: on the left, elevated cisterns and photovoltaic panels (highlighted in red) placed on the edge of a historic building; on the right, the three-dimensional schematic of the cisterns analyzed (credit: E. Doria, 2022).

Fig. 3 | Example of a Structure from Motion photogrammetric capture made in the 3D Bethlehem project in which the location where individual photographs were taken is evident (in blue); some of the control points chosen to dimension and verify the photogrammetric model are visible in the background (credit: '3D Bethlehem' Project, E. Doria, 2022).

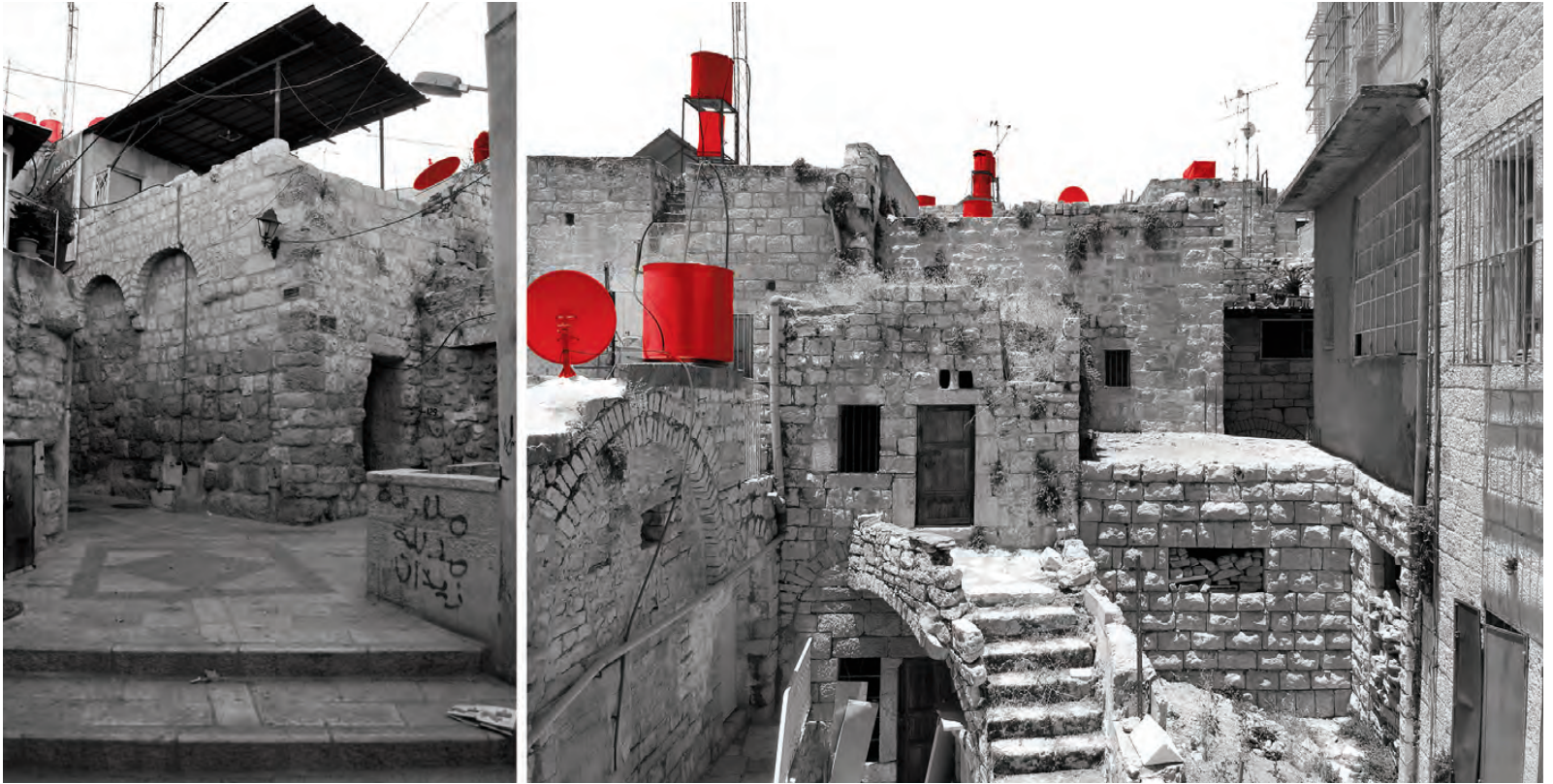


Fig. 4 | The cisterns on buildings in the historic center, highlighted in red; the photographs were taken from the ground and show how cisterns are strongly characterizing elements of the city's image (credit: E. Doria, 2022).

stati realizzati direttamente sul fotopiano ottenuto dal modello fotogrammetrico georeferenziato.

L'utilizzo del fotopiano per il deployment è uno dei punti di forza della ricerca perché permette di associare ai riquadri di delimitazione delle coordinate spaziali collocando le predizioni dell'algoritmo in un sistema con georeferenziazione spaziale. Il modello, addestrato e validato, è interrogabile con una chiamata RESTful alle API del progetto. Esso restituisce come output un file contenente le coordinate degli oggetti identificati con indicata la confidenza con cui ciascuno oggetto viene identificato come facente parte di una delle classi per cui il modello è stato addestrato. I risultati ottenuti sono visibili anche sotto forma di immagine, nella quale le cisterne e le parabole riconosciute sono evidenziate con dei rettangoli colorati in base all'etichetta che gli è stata associata dal modello (Fig. 11).

Risultati e criticità | La piattaforma utilizzata ha permesso la progettazione e la costruzione di un'architettura cloud scalabile e serverless, che può fungere da supporto per questo e per i futuri progetti che includeranno fasi di processamento algoritmico delle immagini. L'infrastruttura è accessibile e fruibile da remoto tramite l'utilizzo di un browser e pertanto risulta possibile utilizzarla direttamente in situ durante la campagna di acquisizione, accelerando le procedure di post processing del materiale acquisito. L'impiego di immagini fotografiche da UAV scattate da diverse angolazioni fornisce ai modelli molteplici punti di vista contribuendo a ottimizzare le performance in caso di occlusione dell'elemento da identificare rispetto al contesto, come in presenza di detriti o zone d'ombra.

La performance del modello viene valutata tramite due metriche, Recall e Precision, che mi-

surano la correttezza del risultato dal punto di vista sia della completezza degli oggetti identificati sia della corretta classificazione degli oggetti. Maggiore è la precisione minore è il numero di falsi positivi, maggiore è la recall minore è il numero di falsi negativi o di previsioni mancate. La soglia rappresenta il valore di confidenza oltre il quale il modello assegna un'etichetta, variabile tra 0 e 1 in quanto identifica una probabilità. Con una soglia impostata a 0,5 i risultati ottenuti sono stati 80,5% di precision e 28,0% di recall. Dato che all'aumentare del numero di oggetti etichettati migliora la convergenza del modello, per cercare di ottenere migliori risultati è stato fatto un ulteriore passaggio triplicando le dimensioni del dataset di addestramento. Il modello è stato quindi riaddestrato e, valutandolo sempre con soglia a 0,5, ha evidenziato prestazioni particolarmente migliorate dando come risultati 90,8% di precision e 61,0% di recall (Fig. 12). In fase di post-produzione dei risultati, un componente software si occupa di collegare le informazioni georeferenziate agli output del modello di DL abilitando la localizzazione degli elementi identificati.

Dai risultati ottenuti e dai processi metodologici sviluppati nella sperimentazione, il riconoscimento automatico degli elementi soddisfa i requisiti che erano stati valutati nella fase di progettazione della sperimentazione ma si possono evidenziare alcune criticità, suddivisibili in due categorie, di metodo e di dato. Le criticità di metodo riguardano principalmente la fase di acquisizione fotogrammetrica UAV, che deve essere accuratamente pianificata con piani di volo archiviabili, in modo da poterli riutilizzare nelle acquisizioni successive, e la costruzione e aggiornamento del dataset di addestramento. L'etichettatura del dataset è un processo manuale temporalmente di-

spendioso e che necessita di particolare cura da parte dell'operatore, in quanto rischia di introdurre sbilanciamenti nel dataset che si propagherebbero al modello in fase di training.

Le criticità del dato fotografico emerse sono legate a condizioni ambientali quali la luce e l'ambiente in cui sono poste le cisterne. Luce intensa e ombre sulle coperture creano zone di contrasto più difficilmente interpretabili e che necessitano di una pianificazione personalizzata in base al territorio e al periodo dell'anno. L'ambiente in cui si trovano le cisterne influisce sul riconoscimento per la presenza di detriti o depositi di rifiuti che rendono poco leggibili gli elementi tecnologici. La piattaforma cloud permette alti livelli di gestione della privacy, consentendo un controllo degli accessi alle diverse componenti dell'infrastruttura e di gestire separatamente l'esposizione dei dati fotografici delle analisi condotte e della gestione dei modelli.

Conclusioni e sviluppi | Il censimento automatizzato degli elementi tecnologici può rappresentare un supporto per la Municipalità al processo di gestione e manutenzione del centro storico, specialmente se utilizzato come strumento di monitoraggio dello stato di fatto e come piattaforma di confronto tra le condizioni temporali documentate. Utilizzando un'immagine georeferenziata come supporto dell'output, ogni identificazione degli elementi può essere ricollegata alle sue versioni temporali. È possibile pianificare le attività di monitoraggio delle coperture tramite strumentazione UAV a intervalli temporali a cadenza regolare (gestione ordinaria) e una tantum, nel caso di un intervento straordinario. Per ogni acquisizione è possibile utilizzare l'algoritmo già addestrato, applicandolo direttamente ai nuovi fotopiani ottenuti. Questo diviene possibile non solo per la città di

Betlemme, ma per tutti i territori limitrofi con elementi tecnologici paragonabili, con l'obiettivo di ottenere un archivio storico del rilevamento degli elementi tecnologici sul quale sviluppare analisi decisionali per la corretta gestione della città.

La metodologia presentata è applicabile in numerosi contesti, grazie alla combinazione della capacità di acquisizione dei dispositivi UAV e alla flessibilità delle piattaforme e dei modelli. Con sufficienti esempi iniziali per allenare il modello è possibile aumentare gli oggetti noti ai dataset etichettati, aggiungendo elementi al novero di quelli identificabili dai modelli quali piscine, parcheggi, coperture per effettuare confronti con dati catastali. Agendo poi sui dati e aggiornando il dataset senza modificare l'infrastruttura o la costruzione dei modelli, è possibile adattare facilmente il contesto di applicazione e la destinazione d'uso dei modelli stessi. Vista la natura disaccoppiata e modulare del progetto di ricerca, basato su molteplici componenti software interconnessi – stoccaggio dei dati, flussi di dati, addestramento e distribuzione dei modelli – è possibile agire separatamente su essi per aggiornamenti del dataset o cambio di tecnologie in maniera puntuale, facilitando la manutenzione e la risoluzione di problematiche che possono emergere.

Inoltre, per come è strutturato il processo descritto, è fondamentale sottolineare come sia possibile abilitare alla fruizione delle previsioni del modello diverse entità in modo 'puntuale', ovvero è possibile decidere di volta in volta chi ha accesso alle componenti del progetto e soprattutto a quali. La componente di innovazione è legata alla scelta dell'infrastruttura su cui si è proceduto a sviluppare la ricerca; utilizzando le infrastrutture cloud che sono oggi a disposizione, con un budget iniziale riferito allo strumento con cui si effettuano le acquisizioni close-range e alla workstation di sviluppo dei processi, si ottiene uno strumento poco soggetto a obsolescenza tecnologica, immune dai danneggiamenti hardware ed economico grazie all'utilizzo dello storage cloud, con particolare riferimento alla fase di prototipazione dei processi.

Il prossimo obiettivo della ricerca è rendere fruibili questi dati all'interno del GIS tridimensionale della città, già realizzato nel progetto 3D Bethlehem, per poter analizzare i singoli elementi tecnologici direttamente dal sistema informativo (Figg. 13, 14). In una logica di gestione e conservazione del Patrimonio costruito, i processi di automazione permettono di facilitare l'attivazione del monitoraggio delle situazioni di criticità e di mantenimento delle condizioni virtuose (Miceli, Morandotti and Parrinello, 2020), semplificando e incrementando la pianificazione di protocolli per la manutenzione preventiva del patrimonio costruito.

The proposal reports the outcome of research focused on the automation of the census of architectural elements in the urban environment via Object Detection techniques, aimed at the development of a system for Built Heritage management. The acquisition of technological, building and material information is a key phase in the conservation process, since the 'complete documentation' of the Heritage allows researchers to lead with additional consciousness management and

enhancement activities (Gasparoli, 2012; Montella, 2009). In this context UAVs (Unmanned Aerial Vehicles), along with post-production technologies that enable the construction of digital twins enable innovative monitoring methods in which the involvement of human technicians can be minimised towards increased workplace safety and the optimisation of maintenance and management costs.

The project scope is focused on the covering of the historical centre of Bethlehem (Fig. 1) with a particular emphasis on the water tanks placed by civilians on the roofs. Surveying such elements from close-range UAV acquisitions allows detection of loads on the historical buildings located in a seismic area (Fig. 2). The goal is the development of a usable informative digital product to be made available to technicians belonging to the Municipality of Bethlehem. Such a tool will allow the monitoring of the built environment of the city and the connection of derived information with pieces of data related to the state of conservation

subsequently surveyed in the field. The proposal fits within the scope of a broader research and cooperation project '3D Bethlehem – Management and control of urban growth for the development of Heritage and Improvement of life in the city of Bethlehem' co-financed by AICS and coordinated by the Department of Civil Engineering and Architecture – DICAr (Parrinello, 2019).¹

The Project, spanning from 2018 to January 2020 includes the digital survey, the filing and digital modelling of the historical city led to the development of a three-dimensional GIS aimed at monitoring interventions performed on the built heritage. Multiple photogrammetric surveying activities contributed to a dataset composed of more than 9,000 images of the coverings, acquired with UAV technologies (Fig. 3) such as DJI Phantom 4 PRO, DJI Mavic, DJI Mavic Mini (Parrinello and Picchio, 2019; Picchio, 2019). This dataset was the basis of the proposal, self-financed and developed after the conclusion of the '3D Bethlehem' project in agreement with the coordinator Prof. Sandro Parrinello.



Fig. 5 | On the left, an orthoimage obtained by processing a three-dimensional mesh model from a photogrammetric point cloud from UAV; on the right, a portion of the textured model generated from photogrammetric acquisitions of Bethlehem's historic center (credit: E. Doria, 2022).

Fig. 6 | Photographic images of the same building taken from different angles; specifically, it is a building in Manger Square, opposite the Basilica of the Nativity, which houses municipal offices, a bank, and some tertiary functions (credit: E. Doria, 2022).

Fig. 7 | Photographic images of the same building taken from different angles; in particular, the main building in which the municipality offices are located and on which some experimentation with BIM modelling integrated into the GIS model is being carried out is shown (credit: E. Doria, 2022).

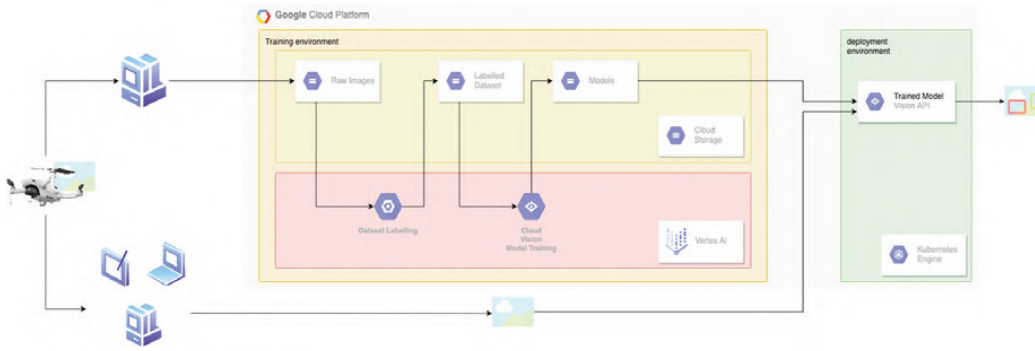


Fig. 8 | Architectural diagram of the project, showing the environment (on premises/cloud) and technologies involved (credit: L. Carcano and E. Doria, 2022).

Close range photogrammetric acquisitions of the coverings were used as the training dataset for Deep Learning models, requiring massive amounts of data to converge towards a solution, namely reaching a status in which the predicted results settle within an acceptable range of error from the known ground truth. The choice of dataset was performed following the filing for the GIS system, from which a clear picture of the inherent complexity of the urban environment, especially focusing on coverings, took shape (Doria, 2022). The goal is to be ultimately found in the automation of the process of the census of technological covering elements, supporting monitoring and programmatic intervention actions on the Heritage. Chosen technological elements for the first instance of the experiment are water tanks, placed in a widespread and unregulated fashion upon the coverings in the city. Water tanks are both an asset for the population during periods of water rationing and constructive criticalities at urban level; such tanks are concentrated load elements on 69.3% of the surveyed buildings, deployed unevenly and without adequate soundness analyses and potentially compromising the structural integrity of buildings in a seismic environment (Abueladas et alii, 2021; De Marco, 2022).

The case study | Water tanks across the centre of Bethlehem and in the surroundings can be categorised by means of shape, size and material. For the scope of these experiments the tanks were divided into three macro-categories (Fig. 4): cylindrical plastic tanks of recent construction and good state of conservation (54%), older cylindrical and squared metal tanks in a far worse state of conservation (46%)². During water sourcing, performed in a non-consistent fashion and only during given days, tanks in worse states of conservation, placed on roofs and manifesting flow regulation issues, leak on building facades and on the piping and plants found along the path of the water. Water leaks are among the causes of pathologies in the buildings such as the proliferation of vegetation – both intensive and extensive, depending on the placement and state of use of the built architectures – and moist areas with evident alterations of facade materials.

The city of Bethlehem is built in hilly territory, and the historical city centre is crossed by steep roads and multiple staircases connecting neighbourhoods built at different heights on the hills. This morphology allows the water tanks to be seen from all over the city, both for those located on re-

cent and historic buildings. The placement of tanks in historical and recent constructions varies: in recent buildings tanks follow a regular pattern; in historical constructions, which show vaulted covering with visible extrados and complex morphology typical of local housing³, the tanks are placed in an uneven distribution across the coverings. In many historical buildings, the covering is used as storage for debris and scrap, interfering with tank visibility and hindering maintenance.

State of the art | The analytical process aimed at understanding the urban context is now connected to the construction of trustworthy databases that allow both strategies to manage the Built Heritage and the communication and virtual fruition of digitised spaces. Within city centres information concerning the events that affected the city is preserved across the years defining a variable ensemble of data that can and should be digitised to allow for proper management (Bocconcino and Manzone, 2019). The increment in the amount of information involved in the public decision process required the implementation of novel technologies and techniques for information management. Information and Communication Technologies (ICT), quickly developing due to technological advancements, influence the decision-making framework when applied to public management, creating monitoring tools for technologically advanced managing (Kouziokas and Perakis, 2017).

In order to gather a large amount of data and metadata, to be subsequently linked when creating massive datasets, the technological development in acquisition methods allowed for the simplification and acceleration of processes. Even though inference processes for the knowledge of heritage start from acquired information, data collection itself is not a source of knowledge per se, requiring a variable correlation process. Computers can leverage the ever-growing amount of non-ordered information, defining novel ways of generating knowledge by analysing recurrent patterns and correlations either a-priori or ex-post. Developments in the field of Artificial Intelligence (AI), a term coined by Prof. John McCarthy and defined as «[...] the science and engineering of making intelligent machines» (McCarthy, 2007, p. 2), become crucial and nowadays include a wide set of technologies and techniques aimed at automating cognitive tasks (Corea, 2019).

Since their beginnings, the research topics related to AI focused on the creation of models imitating the dynamics of human intelligence, based

on comparison and the reworking of external stimuli, that can be reworked and classified based on active research tracks (Buratti, Conte and Rossi, 2021). Machine learning is an umbrella term including multiple techniques and approaches allowing improvement in the performance of algorithms in identifying patterns in input data, mimicking the approach of the human brain when learning and perfecting new skills.

Approaches based on neural networks and Deep Learning (DL) models start from random interconnections across computational elements, perfected through the learning process, enabling the management of use cases of growing complexity by increasing both computational complexity and interconnections among network elements (Mishra, 2021). Scalability allows DL models to work with growing amounts of data and, therefore is well suited for massive structured (tabular data and numbers) and unstructured (natural language, images) datasets. The branch of ICT concerned with the extraction of information from images is Computer Vision, intersecting AI in all the applications in which the capability to learn from and manage unstructured data allows the solution of complex problems such as segmentation and object detection.

The automated identification of technological elements presented in this proposal is based on object detection, the branch of computer vision that allows the identification of objects within images. The scope of the implemented algorithm is dual: on one side, isolate the object of interest in a complex scene, on the other correctly classify the nature of the object. Since the origins and development of Convolutional Neural Networks – CNN (Lecun and Bengio, 1998; Cosovic and Jankovic, 2020), such deep learning models became the state-of-the-art approach thanks to the high performance within this scope of tasks (Redmon et alii, 2016). In this specific case, the chosen approach is that of AutoML, a family of models which features engineering approaches that exploit ensemble and transfer learning techniques to enable quicker development of baseline Machine Learning (ML) models pushing towards the democratisation of AI (He, Zhao and Chu, 2021).

Managing the photographic dataset, its potentially growing size and the therefore increased computational complexity of the object detection task put a hard boundary on the actionable approaches. To enable on-premises management of a growing dataset, storage and computational resources would have needed progressive improvement via the acquisition of new hardware. This proposal aims at dismissing this boundary by deploying the experiments on a Cloud Computing infrastructure, used as an Integrated Machine Learning Platform, allowing abstraction from the computational power available in situ bypassing the limitations imposed by physical hardware and infrastructures (Rivera, 2020).

Related research | The aforementioned Object Detection techniques were developed to learn to identify an entity based on existing data and allowing predictions on unknown data. Starting from image data, three main goals can be identified: classification, detection and segmentation (Xiao et alii, 2020). Different approaches to the pursuit of these goals are well documented as a

support tool for the management and documentation of Cultural Heritage and urban planning (Li et alii, 2020).

In the urban environment, the use of such techniques is documented for the monitoring of criticalities of infrastructures and construction sites (Dandabathula et alii, 2019; Wang et alii, 2022), urban waste management (Majchrowska et alii, 2022), the control of compliance with building regulations (Cunha et alii, 2021) and environmental and agricultural monitoring (Carbone et alii, 2022). The application of such techniques, leading to high performance, is documented in the field of Built cultural heritage, both in the identification of unknown Heritage thanks to satellite and close-range imaging (Due Trier, Reksten and Løseth, 2021) and on already documented heritage (Monna et alii, 2021; Zou et alii, 2019; Hatir

and Ince, 2021) as a support to decision making when planning interventions.

The presented research proposal focuses on the use of Object Detection techniques for the planning and management of urban territory using cloud platforms and open-source technologies, intersecting the existing control area in relation to structural and plant safety issues. Machine learning models and pipelines are based on open-source technologies such as Python libraries and Kubeflow and can therefore be exported and shared with collaborators outside the platform. External collaborators, both technical and non-technical, such as Universities, companies and municipalities can leverage the exported models in cloud infrastructures different from the one presented in this work, allowing for high degrees of cooperation across multiple entities. Such coop-

eration can happen both in the development phase and in the final usage phase, and pre-trained models can be queried via the dedicated Application Programming Interface (API) used to expose them.

Methodology and research phases | Georeferenced images are the backbone on which to structure and define a repeatable census process, developing preferred UAV flight plans (DJI Phantom 4 PRO) and computing the predictions of object detection models on the scaled and georeferenced orthoimage.

The first phase of the research, based on data gathered during the surveying phase of the 3D Bethlehem project, included the analysis of close-range photogrammetric images of coverings and post-production of data aimed at the construction

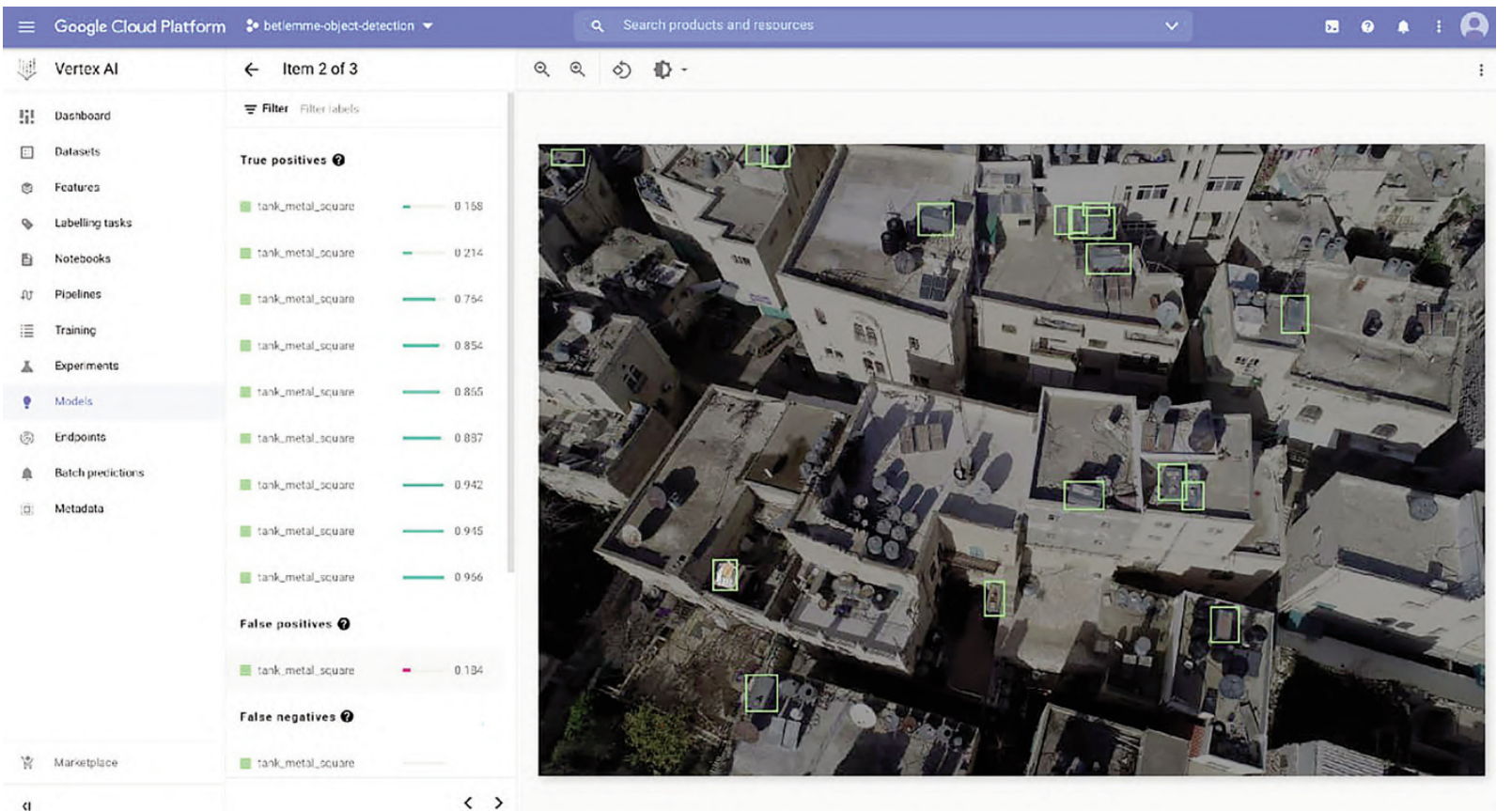
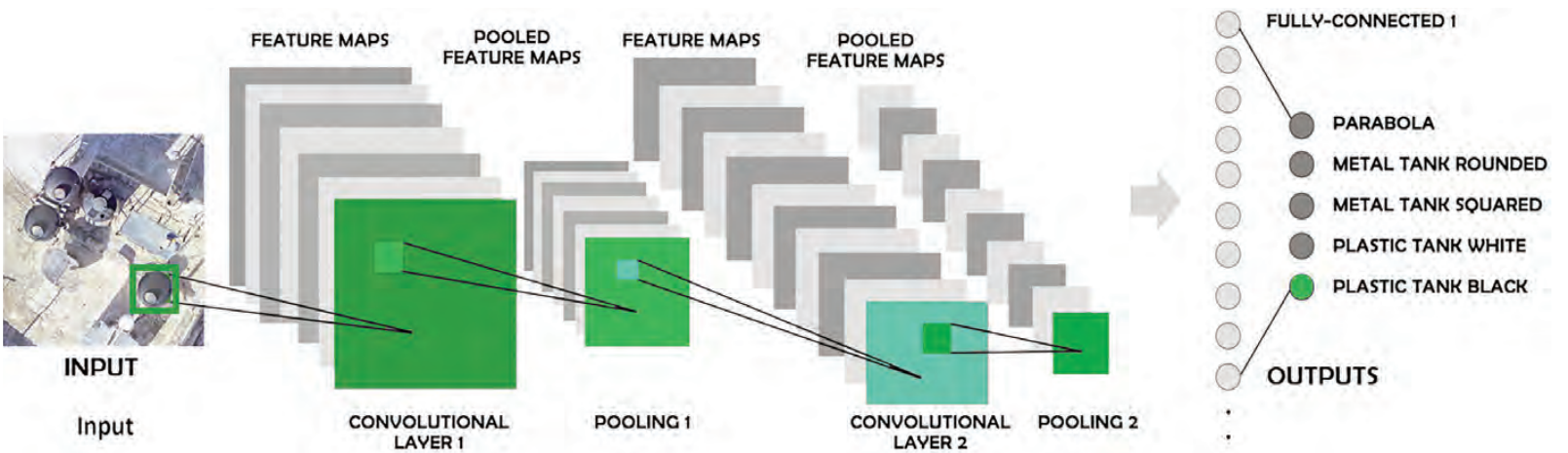


Fig. 9 | Scheme of the basic architectural components of a CNN: the signal feeds a convolutional layer, passes through a pooling layer that reduces the size and advances the signal to the underlying layers of the network (credit: E. Doria, 2022).

Fig. 10 | Model testing phase carried out on the photos in which the technological elements were labelled to get feedback on the values obtained (credit: E. Doria, 2022).

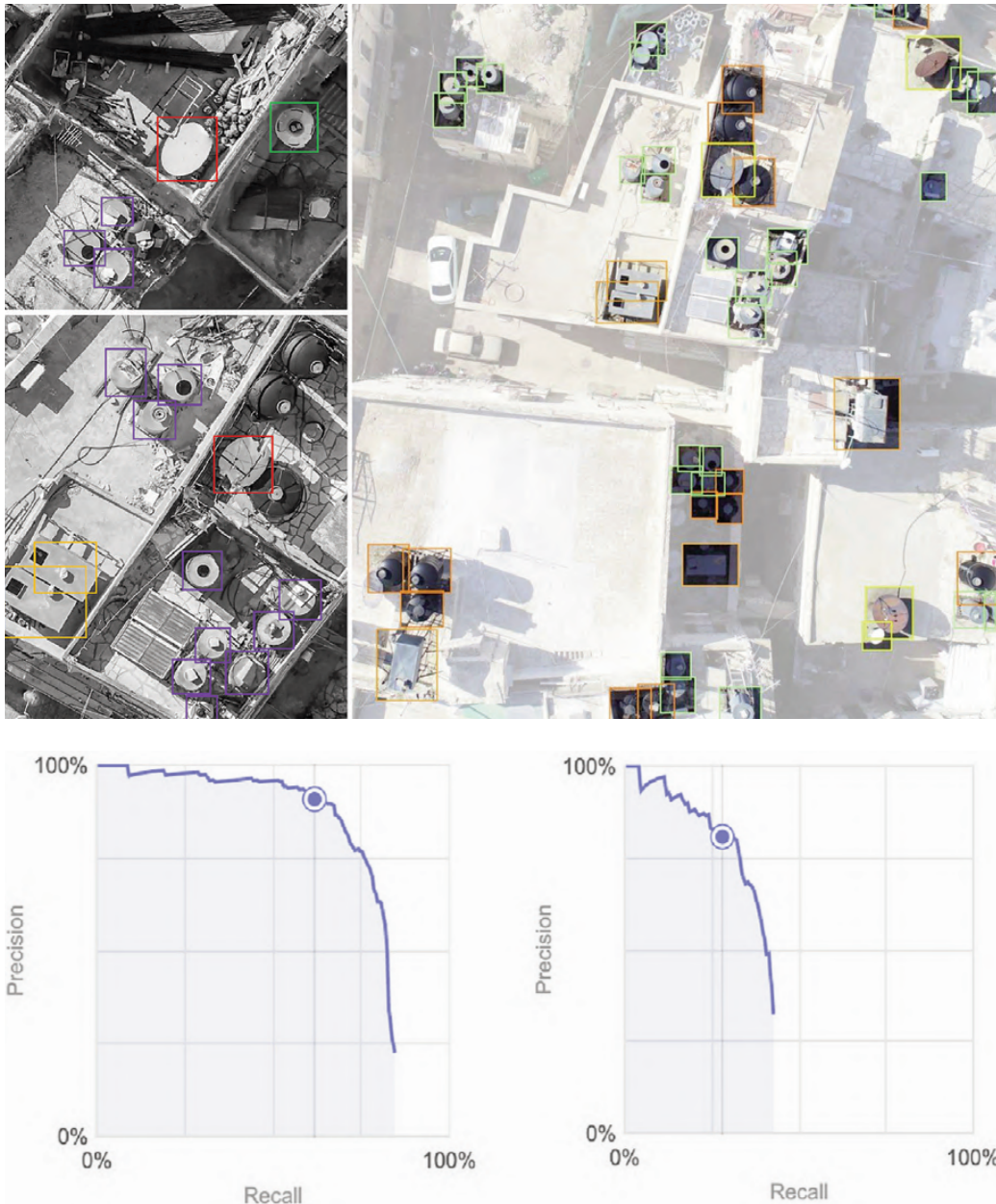


Fig. 11 | Some images returned by the model with bounding boxes of recognized elements: in the lower left, some black plastic tanks that were not recognized in the first phase of testing are visible; to improve this performance, it was increased in initial dataset by increasing the labelled elements and the number of photographs used for training (credit: E. Doria, 2022).

Fig. 12 | Graph of precision and recall after dataset increase compared with before; training images increased from 30 to 85 and the increase in reliability seen is evident (credit: E. Doria, 2022).

of ortho-images. The ortho-image of coverings was extracted from the Structure from Motion (SfM) model (Picchio, 2020): such a model was constructed from flight planned by the operator⁴ with acquisitions performed both zenital and oblique with respect to the four sides of each area, totalling five plans per each smaller sized area (Figg. 5-7). Photogrammetric models have been metrically scaled using the point cloud built with Terrestrial Laser Scanner (TLS) – Faro CAM2 S150 as a reference. The georeferenced ortho-image was used as the base for identifying water tanks. Referenced ortho images allow repeatability of the acquisition at multiple time intervals when the need for a new surveying campaign arises.

The second phase concerned the choice and development of the infrastructure upon which experiments are constructed. A Cloud Computing infrastructure was used for model training, in order

to take advantage of and ensure scalability. Such infrastructure, built on the enterprise-grade Google Cloud Platform allows end-to-end management of data lifecycle, from image ingestion, input management, dataset construction, database enrichment, training and deployment of machine learning models, up until model output fruition (Fig. 8). The infrastructure on which this project relies is completely serverless, which allows scaling via the addition of storage or virtual machines to transparently cope with the need for additional storage capability or computing power, adapting the architecture to the precise need of the case study at each moment in time.

Object Detection tasks rely heavily on convolutional neural networks, in which a sliding window is applied to portions of the image: computational complexity grows with the number and resolution of the images used for training. Data processed

by convolution layers is used to feed subsequent layers in the network architecture, towards the classifier that will assign a label to the images.

Phase three concerned the choice and training of the models. Deep Learning models are built with layers, to be considered as neuron structures, mathematical functions that represent the reaction of the network to incoming input signals and interconnections, representing the relationships between neurons of the same layer and across adjacent layers (Fig. 9). Network training was performed with error back-propagation, evaluating the predicted solution against the ground truth, propagating a correction in network weights to modify the network structure to minimise error at the next training epoch. Multiple training epochs allow the model to converge and settle towards a structure providing a level of performance suited to the needs of the use case, here the identification of tanks in the images. UAV photographs are loaded on storage buckets (containers for data) and are manually labelled building the tagged dataset using the tools provided by the Vertex AI suite, Google's platform for Machine Learning Lifecycle Management (Lakshmanan, 2022).

To tag the dataset, images have been manually labelled using the following process: in Vertex Ai human operators identified all visible tanks, delimiting them with bounding boxes: each bounding box was then labelled with object type, material, and shape. Labelled technological elements fell into one of four categories: square metal tanks, round metal tanks, round plastic tanks, and metal satellite dishes. This process constructed the so-called ground truth for the models (Fig. 10), which was used for comparison purposes and performance evaluation. UAV images allowed the observation of elements from multiple points of view.

Despite seeming obvious, this characteristic enabled improved recognisability of tanks, providing different perspectives and angles of the same objects to Deep Learning models. For this case study, a total of 6,257 technological elements were identified in 41 buildings, from UAV photographs. Labelling satellite dishes alongside tanks was aimed at identification; the similarity to round metal tanks from a zenital perspective meant the labelling process created further focus on the minimisation of false positives and false negatives.

Phase four concerned the testing of models trained on labelled dataset. Test and deployment, as per the distribution and fruition of the machine learning model, were performed on the ortho-image from the georeferenced photogrammetric model. Using referenced ortho-images allowed linking of bounding boxes with spatial coordinates precisely locating predictions in a referenced geospatial system. The model once trained and validated was deployed and made available via an 'http' call to project RESTful APIS. The output file contains the coordinates of bounding boxes per each identified object and the confidence with which class labels are assigned to each identified element. Results can be presented as images, in which identified elements, tanks and dishes, are highlighted with bounding boxes colour coded based on the labels (Fig. 11).

Results and criticalities | The platform used allowed the design and construction of scalable and serverless cloud architecture, supporting this and

future projects including algorithmic image processing steps. The infrastructure is accessible and actionable remotely via a web browser and can therefore be used directly in situ during the acquisition campaign, accelerating post-processing procedures of the acquired material. The use of photographic images from UAVs taken from dif-

ferent angles provided the models with multiple points of view, helping to optimise performance in the event of occlusion of the target elements, such as in the presence of debris or shaded areas.

Model performance is evaluated by means of two metrics, Recall and Precision, measuring the correctness of the result in terms of the complete-

ness of the identified objects and the correct classification of such objects respectively. The higher the precision, the lower the number of false positives, the higher the recall, the lower the number of false negatives or missed predictions. The threshold represents the confidence value above which the model assigns a label, varying between 0 and



Fig. 13 | Three-dimensional model created during the 3D Bethlehem project: on the left, the model imported into the GIS environment with sample diagram of the urban census connections to the platform; on the right, an image of the application of thematic maps to the model, which are derived from the visualization of census data (credit: E. Doria, 2022).

Fig. 14 | Screenshot of the three-dimensional geo-referenced information system in which the integration of the presented research data is planned, thanks to which it will be possible to have punctual information on the positioning of the cisterns and their state of preservation; the integration in the information system will allow for analysis by combining the data of the cisterns with those of the buildings on which they are positioned (credit: E. Doria, 2022).

1 as it identifies a probability. With a threshold set at 0.5, the results obtained were 80.5% precision and 28.0% recall. As the number of labelled objects increased, the convergence of the model improved, and to obtain better results a further step was taken by increasing the size of the training dataset by a factor of three. The model was then retrained and when re-evaluated with a threshold of 0.5, showing notable performance improvements, yielding 90.8% precision and 61.0% recall (Fig. 12). When post-producing the results, a software component took care of linking georeferenced information to the output of the DL model, enabling location of the identified elements.

From the results obtained and the methodological processes developed in the experiment, the automatic feature recognition satisfies the requirements that were assessed in the design phase of the experiment. Even though results satisfy expectations, some criticalities can be highlighted in the method and data. The method criticalities mainly concern the UAV photogrammetric acquisition phase, which must be carefully planned with archivable flight plans, allowing repeatability for subsequent acquisitions, and the construction and updating of the training dataset. The labelling of the dataset is a time-consuming manual process that requires special care, as it might introduce biases that may propagate to the model in the training phase.

The critical aspects of the photographic data that emerged were related to environmental conditions such as light and the environment in which the tanks are placed. Intense light and shadows on the roofs create areas of contrast that are more difficult to interpret and require customised planning, taking into consideration the terrain and time of year. The environment in which the tanks are located affects recognition due to the presence of debris or scrap deposits that hinder the identification of technological elements. The cloud platform enables high granularity of access man-

agement, allowing access control to the different components of the infrastructure and separate management of the photographic data of the conducted analyses and model management.

Conclusions and future developments | The automated census of technological elements can support the municipality in the process of the management and maintenance of the historic centre, especially when employed as a monitoring tool of the as-is state and as a platform for the comparison of the such state through time. Using a georeferenced image as output support, each element identification can be linked back to existing states in time. Covering monitoring activities can be planned using UAV instrumentation at regular time intervals (ordinary) and one-offs, in the case of extraordinary interventions. For each acquisition, it is possible to use pre-trained algorithms, computing predictions on the newly obtained ortho-images. Such a process is enabled not only for the city of Bethlehem but for all neighbouring territories with comparable technological elements, aiming at the construction of a historical archive of technological elements detections on which to develop decision-making analyses for the proper management of the city.

The presented methodology is applicable in numerous contexts due to the combination of the acquisition capability of UAV devices and the flexibility of platforms and models. With sufficient examples to train the model, it is possible to append additional known objects to the labelled dataset, adding elements to the list of identifiable ones such as swimming pools, car parks, and roofs to make comparisons with cadastral data. By acting on the data and updating the dataset, without changing the infrastructure or construction of the models, it is possible to easily adapt the application context and the designated use of the models. Given the decoupled and modular nature of the research project, based on multiple intercon-

nected software components – data storage, data flows, model training and deployment – it is possible to act separately to update datasets or swap technologies as plug-ins, facilitating the maintenance and bug fixing of issues that may arise.

Furthermore, given the way the described process is structured, it is essential to emphasise how it is possible to enable different entities to use the model predictions in an ‘on-demand’ manner, i.e. it is possible to decide from time to time who has access to which components of the project and, above all, to which ones. The innovation component is linked to the choice of the infrastructure on which the research was carried out; by relying on the currently available cloud infrastructures, with an initial budget for the close-range acquisition tool and comparing to the process development workstation, the prototyping phase with the developed infrastructure is more convenient as the built cloud infrastructure is subject to little technological obsolescence and immune to hardware damage.

The next research objective is to enrich the three-dimensional GIS of the city, in scope of the 3D Bethlehem project, with the obtained predicted data, to be able to analyse individual technological elements directly from the information system (Fig. 13, 14). In the realm of management and conservation of the built heritage, automation processes facilitate the activation of the monitoring of critical situations and the maintenance of virtuous conditions (Miceli, Morandotti and Parrinello, 2020), simplifying and increasing the planning of protocols for the preventive maintenance of the built heritage.

Notes

1) ‘3D Bethlehem – Management and control of urban growth for the development of heritage and improvement of life in the city of Bethlehem’ is a cooperation project co-financed by the Italian Agency for Cooperation and Development (AICS). The project was coordinated by the Municipality of Pavia, with a partnership composed of the Municipality of Bethlehem, the University of Pavia (scientific coordination), Bethlehem University, the Province of Pavia, the Pavia Province Order of Engineers, SISTERR Pavia Territorial System for International Cooperation, ANCI Lombardia, VIS – International Voluntary Service for Development NGO and the Palestinian Engineers Association - Jerusalem Centre. The project is scientifically coordinated by Prof. Sandro Parrinello and the research laboratory DAda-LAB of DICAr – Department of Civil Engineering and Architecture, University of Pavia. As of 2022, a second phase of the project is active: ‘Bethlehem SMART City – Environmental Monitoring System and Technological Renewal in the City of Bethlehem,’ which will help promote sustainable and resilient urban and terri-

torial development in the Bethlehem area under the scientific leadership of Prof. Parrinello and co-financed by AICS.

2) Information on the qualitative (state of preservation) and quantitative (percentages of their distribution and proportions) aspects of civil tanks was collected during the urban census carried out in situ using UAV instrumentation in the Bethlehem 3D Old Town project ‘3D Bethlehem’ Project. Due to the sensitivity of the data with respect to the territories in which they were collected and based on agreements with project partners, it is not possible to share the result of the census in its entirety in open access, but in this contribution significant data used for the results presented are extracted.

3) Historical neighbourhoods present a morphology stemming from typical building – awash (Dabdoub and Hifz al-Turāth al-Thaqāfi, 2005).

4) The close-range photogrammetric shooting operations via UAV of the Bethlehem Old Town were divided into different phases given the extent of the urban centre and were carried out per neighbourhood with common landmarks, in order to merge the different models into a single database.

Specifically, the shots used for the proposed research were taken by certified pilot Prof. F. Picchio, University of Pavia.

References

- Abueladas, A.-R. A., Niemi, T. M., Al-Zoubi, A., Tibor, G., Kanari, M. and Ben-Avraham, Z. (2021), “Liquefaction susceptibility maps for the Aqaba-Elat region with projections of future hazards with sea-level rise”, in *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, vol. 54, issue 2, pp. 1-12. [Online] Available at: [lyellcollection.org/doi/10.1144/qjegh2020-039](https://doi.org/10.1144/qjegh2020-039) [Accessed 30 September 2022].
- Bocconcino, M. M. and Manzone, F. (2019), “Sistemi informativi e strumenti grafici per la manutenzione di manufatti complessi | Information systems and graphic tools for the maintenance of complex buildings”, in Garda, E., Mele, C. and Piantanida, P. (eds), *Colloqui.AT.e 2019 – Ingegno e costruzione nell’epoca della complessità – Atti del Convegno – Torino, 25-28 Settembre 2019*, Edizioni Politecnico di Torino, Torino, pp. 678-688. [Online] Available at: researchgate.net/publication/348334768_Sistemi_informa

tivi_e_strumenti_grafici_per_la_manutenzione_di_manufatti_complessi_-_Information_systems_and_graphic_tools_for_the_maintenance_of_complex_buildings [Accessed 30 September 2022].

Buratti, G., Conte, S. and Rossi, M. (2021), "Artificial Intelligence, Big Data and Cultural Heritage", in Giordano, A., Russo, M. and Spallone, R. (eds), *Representation challenges – Augmented Reality and Artificial Intelligence in Cultural Heritage and Innovative Design Domain*, FrancoAngeli, Milano, pp. 29-33. [Online] Available at: republic.polimi.it/retrieve/e0c31c11-a30c-4599-e053-1705fe0aef77/Buratti_Conte_Rossi.pdf [Accessed 30 September 2022].

Carbone, C., Fawakherji, M., Trianni, V. and Nardi, D. (2022), "Photorealistic simulations of crop fields for remote Sensing with UAV swarms", in Parrinello, S., Barba, S., Dell'Amico, A. and di Filippo, A. (eds), *D-SITE. Drones – Systems of Information on Cultural Heritage for a spatial and social investigation*, Pavia University Press, Pavia, pp. 576-581. [Online] Available at: paviauniversitypress.it/catalogo/d-site/6693 [Accessed 12 October 2022].

Corea, F. (2019), *An Introduction to Data – Studies in Big Data*, vol. 50, Springer, Cham. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-030-04468-8 [Accessed 30 September 2022].

Ćosović, M. and Janković, R. (2020), "CNN Classification of the Cultural Heritage Images", in *2020 19th International Symposium INFOTEH-JAHORINA (INFOTEH)*, IEEE, pp. 1-6. [Online] Available at: doi.org/10.1109/INFOTEH48170.2020.9066300 [Accessed 30 September 2022].

Cunha, H. S., Schlauser, B. S., Wildemberg, P. F., Fernandes, E. A. M., dos Santos, J. A., de Oliveira Lage, M., Lorenz, C., Barbosa, G. L., Quintanilha, J. A. and Chiaravallotti-Neto, F. (2021), "Water tank and swimming pool detection based on remote sensing and deep learning – Relationship with socioeconomic level and applications in dengue control", in *PLoS ONE*, vol. 16, issue 12, pp. 1-24. [Online] Available at: doi.org/10.1371/journal.pone.0258681 [Accessed 12 October 2022].

Dabdoub Nasser, C. and Hifz al-Turāth al-Thaqāfi, M. (2005), *Anatreh Quarter – An Urban and Architectural Study of a Bethlehem Quarter*, Centre for Cultural Heritage Preservation, Bethlehem.

Dandabathula, G. B., Saini, S., Parikh, D., Sharma, P., Khandelwal, S. and Rao, S. S. (2019), "Automatic detection of overhead water tanks from satellite images using faster-RCNN", in *International Journal of Advanced Research in Computer Science*, vol. 10, n. 5, pp. 34-37. [Online] Available at: dx.doi.org/10.26483/ijarcs.v10i5.6466 [Accessed 12 October 2022].

De Marco, R. (2022), "Dal modello informativo ad un repository sulla stabilità delle strutture urbane – Una riflessione sulla valutazione della sicurezza negli aggregati storici della città [From the information model to a repository on the stability of urban structures – A reflection on the evaluation of safety in the historical aggregates of the city]", in Parrinello, S. (ed.), *3D Bethlehem – Gestione e controllo della crescita urbana per lo sviluppo del patrimonio e miglioramento della vita nella città di Betlemme | Management and control of urban growth for the development of heritage and improvement of life in the city of Bethlehem*, vol. 3, Edifir Edizioni, Firenze, pp. 203-224. [Online] Available at: researchgate.net/publication/361305496_Dal_modello_informativo_ad_un_repository_sulla_stabilita_delle_strutture_urbane_Una_riflessione_sulla_valutazione_della_sicurezza_negli_aggregati_storici_della_citta_From_the_information_model_to_a_re [Accessed 30 September 2022].

Doria, E. (2022), "Strategie di strutturazione della conoscenza – Innovazioni e attività programmabili tramite il censimento tecnologico del centro storico di Betlemme | Knowledge structuring strategies – Innovations and programmable activities via the technological census of the historic center of Bethlehem", in Parrinello, S. (ed.), *3D Bethlehem – Gestione e controllo della crescita urbana per lo sviluppo del patrimonio e miglioramento della vita nella città di Betlemme | Management and control of urban growth*

for the development of heritage and improvement of life in the city of Bethlehem, vol. 3, Edifir Edizioni, Firenze, pp. 51-67. [Online] Available at: researchgate.net/publication/361217094_Strategie_di_strutturazione_della_conoscenza_innovazioni_e_attivita_programmabili_tramite_il_censimento_tecnologico_del_centro_storico_di_Betlemme_Knowledge_structuring_strategies_innovations_and_prog [Accessed 30 September 2022].

Due Trier, Ø., Reksten, J. H. and Løseth, K. (2021), "Automated mapping of cultural heritage in Norway from airborne lidar data using faster R-CNN", in *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 95, article 102241, pp. 1-19. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jag.2020.102241 [Accessed 12 October 2022].

Gasparoli, P. (2012), "La manutenzione preventiva e programmata del patrimonio storico tutelato come prima forma di valorizzazione | Planned preventive maintenance in the preservation of historic heritage sites as a first form of valorisation", in *Techné | Journal of Technology for Architecture and Environment*, vol. 03, pp. 148-157. [Online] Available at: doi.org/10.13128/Techné-10840 [Accessed 30 September 2022].

Hatir, M. E. and İnce, I. (2021), "Lithology mapping of stone heritage via state-of-the-art computer vision", in *Journal of Building Engineering*, vol. 34, article 101921, pp. 1-12. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.job.2020.101921 [Accessed 12 October 2022].

He, X., Zhao, K. and Chu, X. (2021), "AutoML – A survey of the state-of-the-art", in *Knowledge-Based Systems*, vol. 212, article 106622, pp. 1-27. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.knosys.2020.106622 [Accessed 30 September 2022].

Kouziokas, G. N. and Perakis, K. (2017), "Decision Support System Based on Artificial Intelligence, GIS and Remote Sensing for Sustainable Public and Judicial Management", in *European Journal of Sustainable Development*, vol. 6, issue 3, pp. 397-404. [Online] Available at: doi.org/10.14207/ejsd.2017.v6n3p397 [Accessed 30 September 2022].

Lakshmanan, V. (2022), *Data Science on the Google Cloud Platform*, Editions O'Reilly, Paris.

Lecun, Y. and Bengio, Y. (1998), "Convolutional networks for Images, Speech, and Time-Series", in Arbib, M. A. (ed.), *The Handbook of Brain Theory and Neural Networks*, MIT Press, pp. 255-258.

Li, K., Wan, G., Cheng, G., Meng, L. and Han, J. (2020), "Object detection in optical remote sensing images – A survey and a new benchmark", in *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 159, pp. 296-307. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.11.023 [Accessed 12 October 2022].

Majchrowska, S., Mikołajczyk, A., Ferlin, M., Klawikowska, Z., Plantykowski, M. A., Kwasigroch, A. and Majek, K. (2022), "Deep learning-based waste detection in natural and urban environments", in *Waste Management*, vol. 138, pp. 274-284. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.wasman.2021.12.001 [Accessed 12 October 2022].

McCarthy, J. (2007), *What is Artificial Intelligence?*, Stanford University, Stanford, pp. 1-15. [Online] Available at: jmc.stanford.edu/articles/whatisai/whatisai.pdf [Accessed 30 September 2022].

Miceli, A., Morandotti, M. and Parrinello, S. (2020), "3D survey and semantic analysis for the documentation of built heritage – The case study of Palazzo Centrale of Pavia University", in *Vitruvio | International Journal of Architecture Technology and Sustainability*, vol. 5, n. 1, pp. 65-80. [Online] Available at: doi.org/10.4995/vitruvio-ijats.2020.13634 [Accessed 30 September 2022].

Mishra, M. (2021), "Machine learning techniques for structural health monitoring of heritage buildings – A state-of-the-art review and case studies", in *Journal of Cultural Heritage*, vol. 47, pp. 227-245. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.culher.2020.09.005 [Accessed 30 September 2022].

Monna, F., Rolland, T., Denaire, A., Navarro, N., Granjon, L., Barbé, R. and Chateau-Smith, C. (2021), "Deep

learning to detect built cultural heritage from satellite imagery – Spatial distribution and size of vernacular houses in Sumba, Indonesia", in *Journal of Cultural Heritage*, vol. 52, pp. 171-183. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.culher.2021.10.004 [Accessed 12 October 2022].

Montella, M. (2009), *Valore e valorizzazione del patrimonio culturale storico*, Mondadori Electa, Milano.

Parrinello, S. (ed.) (2019), *3D Bethlehem – Gestione e controllo della crescita urbana per lo sviluppo del patrimonio e miglioramento della vita nella città di Betlemme | Management and control of urban growth for the development of heritage and improvement of life in the city of Bethlehem*, vol. 3, Edifir Edizioni, Firenze.

Parrinello, S. and Picchio, F. (2019), "Integration and comparison of close-range SfM methodologies for the analysis and the development of the historical city center of Bethlehem", in *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*, vol. XLII-2/W9, pp. 589-595. [Online] Available at: doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W9-589-2019 [Accessed 30 September 2022].

Picchio, F. (2020), "Acquisition protocols for UAV photogrammetric data – Comparison in methodological SfM procedures from architectural till urban scale", in Barba, S., Dell'Amico, A., Limongello, M. and Parrinello, S. (eds), *D-SITE – Drones-Systems of Information on cultural heritage – For a spatial and social investigation*, Pavia University Press, Pavia, pp. 70-79.

Picchio, F. (2019), "La fotogrammetria close range per la costituzione di modelli SfM affidabili sul sistema urbano", in Parrinello, S. (ed.), *3D Bethlehem – Gestione e controllo della crescita urbana per lo sviluppo del patrimonio e miglioramento della vita nella città di Betlemme | Management and control of urban growth for the development of heritage and improvement of life in the city of Bethlehem*, vol. 1, Edifir Edizioni, Firenze, pp. 119-138.

Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R. and Farhadi, A. (2016), "You Only Look Once – Unified, Real-Time Object Detection", in *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) – Las Vegas, NV, USA, June 27-30, 2016*, IEEE Computer Society, pp. 779-788. [Online] Available at: cv-foundation.org/openaccess/content_cvpr_2016/papers/Redmon_You_Only_Look_CVPR_2016_paper.pdf [Accessed 30 September 2022].

Rivera, J. D. D. S. (2020), "Object detection with a model trained in Google Cloud AutoML", in *Practical TensorFlow.js*, Apress, Berkeley, pp. 164-184. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-1-4842-6273-3_7 [Accessed 30 September 2022].

Wang, X., Wang, H., Zhang, C., He, Q. and Huo, L. (2022), "A Sample Balance-Based Regression Module for Object Detection in Construction Sites", in *Applied Science*, vol. 12, n. 13, article 6752, pp. 1-15. [Online] Available at: doi.org/10.3390/app12136752 [Accessed 12 October 2022].

Xiao, Y., Tian, Z., Yu, J., Zhang, Y., Liu, S., Du, S. and Lan, S. (2020), "A review of object detection based on deep learning", in *Multimedia Tools Application*, vol. 79, pp. 23729-23791. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s11042-020-08976-6 [Accessed 12 October 2022].

Zou, Z., Zhao, X., Zhao, P., Qi, F. and Wang, N. (2019), "CNN-based statistics and location estimation of missing components in routine inspection of historic buildings", in *Journal of Cultural Heritage*, vol. 38, pp. 221-230. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.culher.2019.02.002 [Accessed 12 October 2022].

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)

Giorgia Tucci dialogues with Carlo Ratti

ABSTRACT

Negli ultimi decenni la crescente consapevolezza sull'esauribilità delle risorse del nostro pianeta ha posto la sostenibilità al centro delle politiche globali attuali che, per far fronte alla complessa situazione globale, hanno fissato gli obiettivi per uno sviluppo sostenibile, promuovendo azioni in grado di fornire innovazione ecologica, digitale e sociale. La sempre maggiore contaminazione della tecnologia digitale nel contesto urbano ha portato a riflettere su processi di riformulazione urbana e ad avviare azioni innovative promotrici del processo di transizione. Il nuovo approccio urbano e territoriale volge oggi verso un nuovo paradigma di integrazione fra artificiale e naturale, tecnologia e sostenibilità, digitale ed ecologia. Testimonianza di questa transizione è l'approccio transdisciplinare nelle progettualità e sperimentazioni dello studio internazionale di Carlo Ratti Associati (CRA).

In recent decades, the growing awareness of the exhaustibility of our planet's resources has placed sustainability at the centre of current global policies that, to cope with the complex international situation, have set goals for sustainable development, promoting actions that provide ecological, digital and social innovation. The increasing contamination of digital technology in the urban context has led to reflections on urban reformulation processes and innovative actions promoting the global transition process. The new urban and territorial approach is moving towards a new paradigm of integration between artificial and natural, technology and sustainability, digital and ecology. Testimony to this transition is the transdisciplinary approach in the design and experimentation of the international practice of Carlo Ratti Associati (CRA).

KEYWORDS

sfide globali, decarbonizzazione, sostenibilità, sperimentazione, rigenerazione urbana

global challenges, decarbonisation, sustainability, experimentation, urban regeneration

Giorgia Tucci, Architect and PhD, is an Adjunct Professor and Research Fellow at the Department of Architecture and Design, University of Genoa. Her research rethinks the identity of rural coastal cities in the Mediterranean through integrated territorial strategies with the application of new technological systems and innovative design approaches. She is the founder of the web platform agrocities.com. Mob. +39 388/11.08.418 | E-mail: giorgia.tucci@unige.it

Carlo Ratti Associati is an international design and innovation firm based in Turin and New York. Drawing on Carlo Ratti's research at the Massachusetts Institute of Technology – MIT (USA), the office is currently involved in many projects across the globe, embracing every scale of intervention, from furniture to urban planning. CRA is the only design firm whose works have been featured three times in TIME Magazine's 'Best Inventions of the Year' list – respectively with the Digital Water Pavilion in 2007, the Copenhagen Wheel in 2014 and Scribit in 2019. In recent years, the office has been involved in the launch of Makr Shkr (a startup producing the world's first robotic bar system) and Scribit (the write&erase robot). Webpage: carloratti.com



Dagli anni '80 la comunità scientifica condivide la tesi che il mondo sia entrato in una nuova era geologica, nota come Antropocene, in cui lo sfruttamento delle risorse ambientali, l'aumento dell'urbanizzazione e le attività degli esseri umani stanno modificando in modo significativo e irreversibile le strutture spaziali, gli ecosistemi e il clima della Terra, innescando un processo di estinzione e una nuova transizione biotica. L'azione umana ha modificato tra il 50% e il 75% della superficie terrestre per far posto a campi coltivati e città, cementificando le aree naturali, favorendo l'erosione del suolo, distruggendo la biodiversità e inquinando l'atmosfera, col risultato di dominare il 90% degli ecosistemi terrestri (EEA, 2019). La sempre maggiore consapevolezza sull'esauribilità delle risorse del nostro pianeta ha posto la sostenibilità al centro delle politiche globali attuali e per far fronte alla complessa situazione le sfide europee e mondiali, insieme alle politiche nazionali, hanno fissato gli obiettivi per uno sviluppo sostenibile, promuovendo azioni in grado di fornire innovazione ecologica, digitale e sociale (UN, 2022).

Le due transizioni digitale ed ecologica, così come i programmi di azione EU Green Deal¹, Next Generation EU², New European Bauhaus³, New Industrial Strategy for Europe⁴, le misure connesse all'Agenda 2030 e le varie politiche di coesione (EU, 2021a, 2021b, 2021c, 2021d, 2021e) rappresentano le principali sfide del nostro secolo per favorire i cambiamenti necessari allo sviluppo di un'economia circolare, di una società più equa e di un'industria innovativa e più attenta alle questioni ambientali, attraverso l'impiego di processi, tecnologie e materiali più sostenibili. In questo senso le due transizioni sono strettamente correlate; la tecnologia digitale, infatti, diviene l'infrastruttura abilitante che rende possibile la transizione ecologica, in quanto in grado di migliorare l'efficienza energetica, dare slancio all'economia circolare, assicurare una migliore allocazione delle risorse, ma anche ridurre le emissioni inquinanti, la perdita di biodiversità e il degrado ambientale, nonché raccogliere, elaborare, processare e fornire informazioni e dati utili ai membri delle comunità (Ratti and Belleri, 2020).

L'innovazione digitale rappresenta quindi, un fattore chiave nel processo di transizione, il motore per un nuovo paradigma di sviluppo, volto a far convergere servizi scientifici e tecnologici nei settori dell'innovazione energetica e della sostenibilità ambientale, nonché un nuovo meccanismo evolutivo basato sulla sperimentazione nei processi di progettazione.

All'interno di questo scenario, in linea con il contesto dinamico e le nuove politiche d'innovazione, si inquadra il lavoro di Carlo Ratti, architetto e ingegnere di formazione, socio fondatore dello studio internazionale di design e innovazione Carlo Ratti Associati (CRA) con sede a Torino e filiali a New York e Londra. Laureato al Politecnico di Torino e all'École Nationale des Ponts et Chaussées di Parigi e conseguendo poi un MPhil e un PhD all'Università di Cambridge (UK), dal 2004 Ratti si dedica alla ricerca scientifica presso il Massachusetts Institute of Technology (MIT) di Boston, dove dirige il Senseable City Lab, un laboratorio non vincolato dalle metodologie di un singolo settore, ma caratterizzato da un approccio transdisciplinare che unisce urbanisti, designer, ingegneri, fisici, matematici dei sistemi, eco-

nomisti e sociologi in una missione comune, quella di dar forma al futuro.

Secondo Ratti «La città è un universo che può essere visto attraverso la lente dell'economia, della sociologia o dell'architettura e del design, ma un laboratorio incentrato sulle città richiede l'integrazione di tutte le discipline per poterle comprendere e studiare». Rifacendosi al pensiero del premio Nobel Herbert Simon⁵ economista e teorico dell'automazione, il quale basò la sua rivoluzionaria ricerca sul processo decisionale sostenendo la teoria che essa fosse guidata da numerose scienze diverse fra cui l'informatica e la scienza cognitiva, il Direttore del Senseable City Lab riconosce gli spazi urbani come una complessa rete di sistemi in evoluzione ai quali la collaborazione fra le discipline permette di dar loro un senso.

I numerosi studi svolti presso il MIT hanno trovato una concreta applicazione nei progetti dello studio CRA che, su varie scale di intervento, dal design di prodotto alle installazioni, dall'architettura alla pianificazione urbana, diffonde in tutto il mondo le proprie sperimentazioni. Lo studio, infatti, si propone di esplorare l'intersezione tra naturale e artificiale nell'ambiente costruito, sfruttando le tecnologie digitali come parte di una missione multidisciplinare per pensare, progettare e fare innovazione nello spazio urbano; innovazione che si lega a tematiche di grande rilievo nelle progettualità illustrate da Carlo Ratti durante l'intervista svolta in occasione della stesura del presente contributo.

Primo fra tutti il complesso tema della decarbonizzazione – ovvero il processo di conversione a un sistema economico in grado di ridurre in modo sostenibile l'anidride carbonica sino alla sua privatizzazione totale – tematica ampiamente discussa nelle recenti politiche mondiali, che ha visto l'Unione Europea rinnovare l'impegno ad affrontare le sfide legate al clima e all'ambiente in risposta all'Accordo di Parigi del 2015 (UNFCCC, 2015). L'UE, infatti, si sta mobilitando per adottare un'ampia serie di politiche per diventare il primo continente neutrale dal punto di vista climatico entro il 2050 – passando a un'economia pulita, circolare e sostenibile – e promuovendo azioni quali l'azzeramento dell'inquinamento, l'accelerazione del passaggio alla mobilità sostenibile e intelligente e la produzione di energia pulita, economica e sicura. Nello specifico con la Legge Europea sul Clima (EC, 2021a), approvata nel luglio 2021, l'UE si è posta l'obiettivo vincolante di raggiungere la neutralità climatica entro il 2050, prevedendo che gli attuali livelli di emissioni di gas serra diminuiscano sostanzialmente nei prossimi decenni.

Come passo intermedio verso la neutralità climatica, l'UE ha inoltre aumentato le sue ambizioni climatiche per il 2030, impegnandosi a ridurre le emissioni di almeno il 55% entro il 2030 attraverso un pacchetto di nuove iniziative, il cosiddetto 'pacchetto Fit for 55' (EC, 2021b), in materia di clima, energia e trasporti. Il pacchetto di proposte mira a fornire un quadro coerente ed equilibrato per il raggiungimento degli obiettivi climatici dell'UE, garantendo una transizione giusta e socialmente equa, rafforzando l'innovazione digitale, incentivando la competitività dell'industria e sostenendo la posizione dell'UE come leader nella lotta globale contro i cambiamenti climatici. La Commissione Europea, anche attraverso lo Zero Pollution Plan (EC, 2021c), ha inoltre proposto una

serie di modifiche all'attuale sistema di scambio delle quote di emissione (EU ETS) che dovrebbe portare entro il 2030 a una riduzione complessiva del 61% rispetto al 2005. La proposta mira in particolare ad attuare il regime globale di compensazione e riduzione delle emissioni di carbonio nel settore dei trasporti (marittimo, aereo, stradale), dell'industria e dell'energia modernizzando e innovando il sistema.

In quest'ottica lo studio CRA tenta di rispondere alla spinosa questione della neutralità climatica attraverso il progetto Hot Heart⁶ (Helsinki, 2021; Figg. 1-4) che si inserisce in un quadro di azioni innovative e pionieristiche rappresentando un'avanguardia nella sfida verso la decarbonizzazione. Secondo Ratti «Il progetto sarà il più grande impianto infrastrutturale nel suo genere, configurandosi come un arcipelago di dieci bacini di accumulo energetico – dalle dimensioni di circa 225 metri di diametro ciascuno – con servizi multifunzionali e attività ricreative al largo della costa di Helsinki. Il sistema funzionerà come una gigantesca batteria termica: l'energia rinnovabile a basso o nullo costo viene convertita in calore, immagazzinata nei serbatoi (in grado di contenere sino a 10 milioni di metri cubi di acqua) e prelevata nei canali di distribuzione del calore della città durante l'inverno. La produzione energetica si svilupperà attraverso l'utilizzo di pompe di calore ad acqua di mare in grado di convertire l'energia eolica, solare e di altro tipo in calore».

Oltre che per le eccellenti proprietà di accumulo termico, Hot Heart funzionerà da luogo ricreativo accessibile, ispirandosi al concetto finlandese di Jokamiehen Oikeudet, che potrebbe essere tradotto come 'diritto di ogni persona', il diritto di riflettere e rilassarsi godendo pacificamente della natura. «Quattro dei dieci serbatoi di acqua calda» infatti, continua Ratti «sono racchiusi in cupole trasparenti contenenti le Foreste Galleggianti, ecosistemi tropicali delle principali zone di foresta pluviale del mondo, riscaldati naturalmente dai bacini sottostanti. Le Foreste Galleggianti offriranno ai visitatori un luogo dove socializzare e godere della luce del sole, anche nel rigido inverno nordico».

Grazie all'impiego delle più recenti tecnologie, il sistema innovativo e digitalizzato, gestito dall'intelligenza artificiale, sincronizzerà la produzione e il consumo di energia termica permettendo di coprire l'intero fabbisogno di riscaldamento della città di Helsinki, stimato in 6.000 GWh, entro la fine del decennio, il tutto senza emissioni di CO₂. Il progetto, sviluppato nell'ambito della Helsinki Energy Challenge, accelererà la transizione della città verso la neutralità delle emissioni di carbonio per il riscaldamento entro il 2030, perseguendo gli obiettivi dell'UE; inoltre, essendo altamente adattabile, potrebbe essere replicato da altre città in zone climatiche similari, alla ricerca di soluzioni di riscaldamento sostenibili.

Oltre al progetto Hot Heart, ultima realizzazione di CRA che evidenzia la visione su come migliorare l'ecosistema urbano attraverso strategie innovative di risanamento del clima, lo studio ha sviluppato progettazioni analoghe come il Living Nature (Milano, 2018), un padiglione della Milano Design Week 2018 con giardino a clima controllato, l'installazione Sun&Shade (Dubai, 2017) sviluppata in collaborazione con il Museum of the Future di Dubai, dotata di una serie di specchi in

Overall System

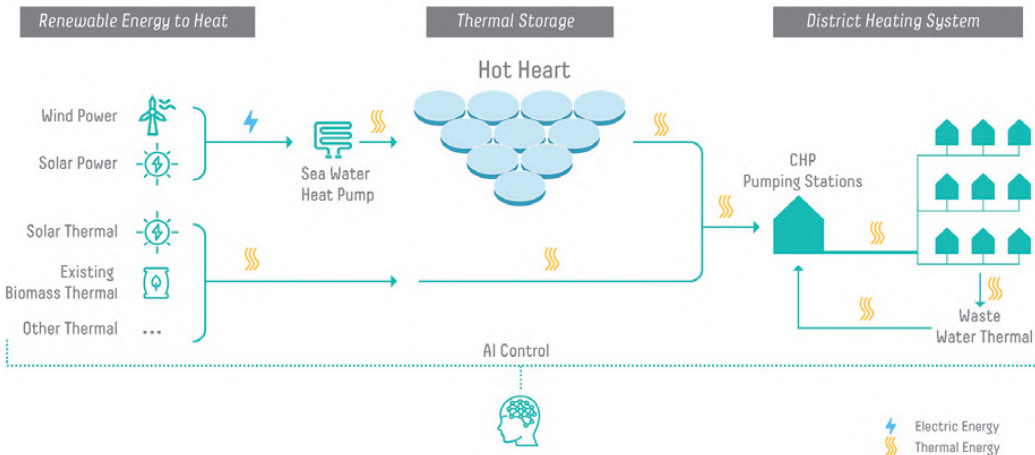


Fig. 1, 2 | Concept diagram and Helsinki Aerial view of Hot Heart project (credits: CRA – Carlo Ratti Associati, 2021).

grado di riflettere la luce solare e il calore eccessivi, e il progetto Cloud Cast (Dubai, 2015), presentato al Summit governativo degli Emirati Arabi Uniti del 2015, che utilizzava la tecnologia di tracciamento del movimento per emettere nuvole di nebbia sopra le persone al fine di ottenere un effetto di raffreddamento localizzato.

Secondo Simon (1996) mentre le scienze naturali si occupano di come sono le cose, il design si occupa di come le cose dovrebbero essere, di concepire artefatti per raggiungere degli obiettivi, pertanto chiunque progetta modifica le situazioni esistenti in situazioni preferite: l'atto di progettare è quindi intrinsecamente orientato al futuro, con l'obiettivo di trasformare il presente, attuando un cambiamento. In quest'ottica il design ha una valenza 'evolutiva', ossia in grado di orientare lo sviluppo in modo positivo (Ratti and Claudel, 2015). È questo il principio che guida le progettazioni dello studio CRA e che secondo Carlo Ratti è alla base dell'innovazione per il futuro.

Durante l'intervista Carlo Ratti illustra come le ricerche e le progettualità del suo studio, allineate

con gli obiettivi globali, affrontino le complesse tematiche attuali attraverso la sperimentazione degli strumenti tecnologici con lo scopo di avviare un cambiamento nell'ecosistema urbano. Le città infatti, secondo le recenti politiche comunitarie – si veda il Milan Urban Food Policy Pact⁷ o la EU Farm to Fork Strategy (EC, 2020d) – rappresentano i contesti più sensibili per affrontare le sfide globali legate alla sostenibilità ambientale, ai cicli alimentari, alla giustizia territoriale, all'innovazione sociale e alla co-creazione del cambiamento (Scalisi and Ness, 2022). Nelle città si concentra, e si concentrerà sempre di più, la maggior parte di quei consumatori le cui scelte individuali sono decisive nel definire l'evoluzione dei modelli di sviluppo urbano e territoriale (Boyer and Ramaswami, 2017; Blay-Palmer et alii, 2018).

Diviene quindi centrale ragionare su modelli in grado di integrare il paesaggio naturale all'interno delle grandi aree di sviluppo 'meta-politane' (Asher, 2010), volti a favorire la diversità programmatica e sociale, ma anche un rapporto più efficace tra paesaggio naturale e paesaggio artificia-

le. Molte ricerche promosse dalle discipline urbane e dalla scienza del territorio sono state dedicate a reinterpretare il ruolo che questi spazi ibridi semi-naturali e produttivi potevano ricoprire in qualità di elementi rigenerativi per la definizione di nuovi paradigmi nella costruzione delle forme urbane (Ricci, 2012; Negrello et alii, 2022).

In questo contesto interpretativo lo studio CRA risponde alle sfide globali promuovendo dinamiche territoriali urbane più efficienti in cui la componente agroalimentare di base è connessa da un lato al benessere sociale e allo sviluppo economico, dall'altro alla qualità ambientale e a una dimensione urbana più tecnologica e operativa, in grado di gestire e rispondere alla crescita e allo sviluppo sostenibile dei nuovi scenari metropolitani (Ratti and Claudel, 2016). All'interno di questo quadro innovativo l'agricoltura urbana può non solo contribuire a garantire processi di alimentazione più sani ed efficienti legati all'ottimizzazione algoritmica dei parametri ambientali ed economici, ma anche promuovere nuovi cicli dell'energia e dei rifiuti, ridurre il consumo di acqua e migliorare la gestione di risposte resilienti per l'ambiente. «È questo lo scopo della Jian Mu Tower⁸ (Shenzhen, 2021)» spiega Ratti, raccontando uno dei più recenti progetti dello studio. «La Jian Mu Tower [concepita per occupare l'ultimo lotto disponibile nel Central Business District di Shenzhen] è un edificio polifunzionale alto 218 metri che introduce il concetto del grattacielo sostenibile, soprattutto in termini di approvvigionamento alimentare, destinato a diventare il primo 'farm-scraper' al mondo» (Figg. 5-9).

Ad oggi, infatti, solo un terzo del fabbisogno di cibo della popolazione mondiale può essere fornito da fonti locali; basti pensare che, in una città delle dimensioni di Londra, vengono prodotti, trasportati, cucinati, consumati e smaltiti 30 milioni di pasti, pari all'intera superficie agricola attualmente coltivata nel Regno Unito. Questo sistema consumistico di approvvigionamento comporta un consumo di energia da combustibili fossili pari a 10 calorie di energia per produrre una singola caloria di cibo, impattando in modo significativo sull'ambiente sia in termini energetici che di inquinamento (Pollan, 2006; Steel, 2009; Jain et alii, 2018). In questo senso diviene centrale domandarsi in che misura l'agricoltura urbana può diventare una struttura a supporto della città, considerando le nuove possibilità tecnologiche legate ai sistemi di produzione e distribuzione, l'interesse per una catena alimentare di qualità, i processi di rinaturalizzazione urbana e gli impatti economico-sociali delle città.

«L'agricoltura urbana su piccola scala è già presente nelle città di tutto il mondo, da Parigi a New York a Singapore» risponde Ratti «tuttavia la Jian Mu Tower ha raggiunto un livello superiore. Questo approccio ha il potenziale per svolgere un ruolo importante nella progettazione delle città future, in quanto affronta una delle sfide architettoniche più pressanti di oggi, ovvero l'integrazione del mondo naturale nella progettazione degli edifici». Lungo i 10.000 metri quadrati di facciata, infatti, la torre ospita un'innovativa fattoria idroponica verticale in grado di produrre circa 270.000 chilogrammi di cibo l'anno, sufficienti a coprire il fabbisogno di circa 40.000 persone, creando una catena di approvvigionamento alimentare autosufficiente che comprende la coltivazione, il rac-

colto, la vendita e il consumo delle colture, tutto all'interno dello stesso edificio.

«Questo pionieristico 'farmscraper' ridurrà al minimo la filiera di produzione, abbattendo l'impatto sull'ambiente e, attraverso l'intelligenza artificiale di un 'agronomo virtuale', sarà in grado di gestire le risorse nel modo più efficiente e sostenibile». Lo studio CRA, ha, inoltre, previsto che i 90.000 metri quadrati di superficie calpestabile, disposta su 51 livelli, ospiteranno non solo sistemi di coltivazione all'avanguardia, ma anche terrazze paesaggistiche che contribuiranno allo sviluppo della biodiversità, ospitando un'ampia varietà di flora (ninfee, felci e litchi) e sfruttando, con un sistema di irrigazione sostenibile, le abbondanti precipitazioni di Shenzhen.

La Jian Mu Tower è l'ultimo esempio degli sforzi del CRA per incorporare sistemi naturali e agricoli nelle strutture urbane. Tra i progetti che condividono una sensibilità simile troviamo VITAE (Milano, 2019), un complesso edilizio che ha come fulcro un vigneto di 200 metri accessibile al pubblico; la CapitaSpring Tower (Singapore, 2021), sviluppata in collaborazione con BIG-Bjarke Ingels Group, un edificio alto 280 metri che presenta una foresta interna su più livelli; infine, la proposta del grattacielo di Shenzhen per un supermercato intelligente, preceduta dal prototipo del Future Food District (Milano, 2015) per l'Esposizione Universale di Milano del 2015 progettato per Coop Italia.

La risposta dello studio punta in modo deciso a promuovere l'integrazione del verde nell'ecosistema urbano costruito, avvalendosi delle grandi possibilità innescate dal progresso tecnologico-digitale che, secondo Carlo Ratti, permettono di superare la divisione fra mondo artificiale e mondo naturale. «Il digitale non rappresenta qualcosa fine a sé stesso, ma un modo per superare la divisione fra artificiale e naturale» spiega Ratti. «Le reti, i dati, i sensori, l'intelligenza artificiale infondono una vita nuova al mondo artificiale, consentendo alla città, a un edificio o un oggetto di comportarsi in maniera responsiva e dinamica, come qualcosa di vivente, come un 'organismo'. Come il corpo umano anche la città possiede 3 principali tipologie di 'abilitatori' tecnologici che le permettono di 'vivere': la sensoristica che consente di raccogliere le informazioni, l'intelligenza artificiale che processa questi dati in tempo reale in maniera sempre più sofisticata e gli attuatori che trasformano le informazioni in azioni».

Prosegue Ratti: «Banalmente se immaginiamo la rete di semafori di una città, la tecnologia oggi le consente di rilevare in tempo reale come sono distribuiti i veicoli: un sistema intelligente processa le informazioni ed elabora una strategia per migliorare i flussi veicolari; in risposta le luci dei semafori, in qualità di attuatori, cambiano colore ottimizzando i transiti nella rete urbana. Questo concetto può essere esteso dal traffico di una città alla domotica di un edificio, ma più in generale a tutti quei sistemi che grazie al digitale stanno diventando quasi senzienti. Questo ci permette di ripensare la frattura fra naturale e artificiale, alla base dei grandi problemi contemporanei, nonché di comprendere meglio le nostre città e, grazie agli strumenti digitali, di esplorare opportunità per riprogettare il futuro». È infatti noto che il progresso tecnologico degli ultimi decenni abbia radicalmente cambiato le nostre vite così come la società, l'economia, lo spazio, la cultura, la salute e



Figg. 3, 4 | The Hot Heart project: Play and recreational space; Inside one of the floating forests (credits: CRA – Carlo Ratti Associati, 2021).



Fig. 5-9 | Jian Mu Tower (credits: CRA – Carlo Ratti Associati, 2021).

l'ambiente, raggiungendo un punto di non ritorno (Gerd, 2019). «Le tecnologie emergenti come l'intelligenza artificiale, combinate con l'ascesa dei big data, hanno trasformato quasi ogni aspetto della nostra quotidianità, il modo in cui interagiamo tra di noi e con il nostro ambiente costruito; si pensi alla maturazione delle Internet of Things e al suo profondo effetto sugli spazi urbani».

Per osservare le trasformazioni del mondo urbano negli ultimi decenni possiamo prendere in considerazione tanto l'influenza del progresso tecnologico quanto gli accadimenti di natura sociale e persino sanitaria. Nel primo caso, a partire all'incirca dagli anni Sessanta del Novecento, si avviava un percorso che in modo graduale ha portato alla creazione di Internet e alla diffusione di massa del World Wide Web, generando profondi cambiamenti nei modi di vivere, di lavorare, di comprare, di apprendere, di comunicare, di intrattenersi: una scoperta che ha portato il mondo analogico del postguerra verso una nuova era digitale. Il secondo, alquanto recente, si è manifestato agli albori del 2020 attraverso la pandemia da Covid-19, un contagio virale che ha gettato l'intero pianeta in una situazione di emergenza, spingendo gli Stati, le regioni e i cittadini stessi a oltrepassare la propria condizione individuale a favore dell'interesse collettivo, perseguendo uno scopo comune.

Sebbene i due eventi risultino apparentemente lontani fra loro, entrambi hanno fortemente inciso e mutato la dimensione economica, urbana e sociale, dalla scala globale a quella locale, dalla metropoli al quartiere, dalla comunità al singolo. Entrambi inaspettati, uno ha aperto infinite prospettive di sviluppo, abbreviando i tempi e creando connessioni, l'altro ha permesso di riscoprire lo spazio domestico e la consapevolezza collettiva; entrambi hanno generato nuove abitudini e dato origine a nuove dinamiche, ispirando iniziative che non sarebbero state altresì possibili l'uno senza l'altro. Basti pensare a tutte le attività di intrattenimento nate sul digitale e volte a superare la mancanza di uno spazio fisico di incontro (scuole, strutture sportive e ricreative, teatri, musei, ecc.), alle azioni di civic hacking (approccio creativo, spesso tecnologico, per risolvere problemi di interesse civico) che hanno trovato soluzioni alternative e creative in risposta alle emergenze utilizzando strumenti digitali e interattivi (Lovari and Iannelli, 2017), alle iniziative di solidarietà da parte del mondo social, alle nuove strategie ibride di marketing attraverso i dispositivi tecnologici e molto altro ancora.

Preso atto dei cambiamenti epocali che questa dimensione tecnologico-emergenziale ha generato durante la fase post-pandemica sono state avviate sperimentazioni volte a ripensare il rapporto fra spazio-uomo-digitale per rispondere alle complesse dinamiche create. Ma qual è quindi il ruolo dello spazio fisico all'interno di un mondo digitale?

Secondo Ratti «L'innovazione digitale per fronteggiare l'emergenza pandemica ha permesso di continuare a vivere e lavorare in maniera 'smart' da remoto nel nuovo contesto domestico; lo spazio fisico limitato, tuttavia, ha indotto una sorta di isolamento all'interno di una realtà virtuale parallela. Per superare questo distacco e tornare a riunire le comunità, lo studio CRA ha ideato il MEET⁹ (Milano, 2020) come un luogo fisico e tecnologico in grado di favorire la serendipità e le connessioni

inaspettate tra le persone, ruolo da sempre ricoperto dall'architettura che dà forma allo spazio fisico, elemento di cui è privo il regno digitale». Nelle strategie politiche post-pandemia il motto della Città di Milano, ad esempio, è stato il 'ritorno a una nuova normalità', l'idea quindi di dover abbracciare una nuova quotidianità, frutto di eventi irreversibili.

Dove la pandemia ha imposto distanza, tuttavia, la tecnologia ha avvicinato; è proprio all'interno di questa nuova cultura digitale che il progetto MEET intende indagare il significato dello spazio fisico in un mondo sempre più digitalizzato (Figg. 10-13): «il progetto cerca di raggiungere questo obiettivo attraverso l'ibridazione delle funzioni, ovvero la possibilità per ogni spazio di ospitare contemporaneamente attività diverse, facilitando la generazione e la circolazione di nuove idee». Questo approccio progettuale è espresso al meglio dalla piazza centrale verticale (alta 15 metri), ma si estende a tutto il complesso attraverso le sale per mostre, conferenze e performance, le installazioni digitali e le sale immersive.

Una serie di sistemi di proiezione e schermi avanzati sparsi per l'edificio permettono alle persone di accedere all'archivio digitale di MEET in modi inaspettati, rifacendosi all'idea di 'ubiquitous computing', avanzata dallo scienziato Mark Weiser (1991) che sosteneva che la tecnologia digitale sarebbe diventata così pervasiva tanto da 'ritirarsi sullo sfondo delle nostre vite'. In questo senso il progetto trasforma l'architettura stessa in un mezzo per condividere conoscenza e cultura attraverso l'innovazione digitale, riportando l'individuo al centro del progetto. Il MEET sintetizza perfettamente la tipologia di azione progettuale scaturita in seguito alla pandemia, in cui viene ripensato uno spazio pubblico diffuso e nuovi luoghi a uso promiscuo, al fine di riconfigurare un modello spaziale meno definito negli usi, ma con un apporto qualitativo rispetto all'insieme.

Se da un lato il Centro milanese per la cultura digitale e la tecnologia creativa punta a recuperare le relazioni tra le persone, il progetto di Parco Romana¹⁰ (Milano, 2021) si propone di ricucire gli spazi della città (Figg. 14-18). Ratti spiega, infatti, che «il progetto ripensa il grande scalo ferroviario che ha diviso l'area per più di un secolo, ricucendo il contesto urbano frammentato e ricollegando i quartieri circostanti attraverso la creazione di un nuovo grande spazio pubblico eterogeneo e dinamico radicato nei principi di inclusività, biodiversità, resilienza, connettività e benessere». Allineandosi agli obiettivi dell'Accordo di Parigi, del Green Deal Europeo e del Piano Nazionale di Recupero e Resilienza (Governo Italiano, 2021), il Parco Romana si configura come un'innovativa infrastruttura verde polifunzionale che restituisce alla città uno spazio verde accessibile e multifunzionale.

Secondo Ratti «Il Parco stesso diviene un elemento topografico unico che si estende sopra la linea ferrata, che attualmente divide il sito, creando un percorso verde lineare sopraelevato che contribuisce a contenere, anziché cancellare, l'infrastruttura ferroviaria esistente inglobando centinaia di alberi che offrono percorsi pedonali con viste inaspettate sull'area». Collegata alla rete ambientale delle Rotaie Verdi di Milano, la nuova zona ecologica, combina sistemi ecologici e umani – boschi e zone umide intervallate da orti comunitari – per dar vita a un modello di crescita urbana

autonomo ma integrato: «L'edilizia a basse emissioni di carbonio e le tecnologie verdi forniscono energia rinnovabile, acqua pulita e cibo fresco per garantire che il progetto diventi un innovativo generatore di risorse in un ambiente inclusivo ricco di biodiversità e servizi alla comunità che rappresenta un cambio di paradigma nella rigenerazione sostenibile di Milano».

Centrale è il ruolo che l'infrastruttura torna a ricoprire nel territorio, intesa non più come un semplice elemento di connessione, ma un vero e proprio strumento strategico in grado di attivare processi virtuosi volti a promuovere la resilienza ambientale e sociale, generare azioni di rigenerazione e sviluppare una serie di servizi ecosistemici dentro e fuori le città. In questo senso è quindi possibile ripensare i sistemi di pianificazione al fine di riprogrammare lo spazio urbano come un incubatore di azioni virtuose, inclusive, sostenibili e innovative?

Il nuovo approccio urbano e territoriale, a cui dovrebbero avvicinarsi le città, fa oggi appello a una sistematicità dinamica, evolutiva e reticolare, più relazionale, intelligente e responsiva (Gausa, 2015), protesa verso un nuovo paradigma di integrazione fra artificiale e naturale, tecnologia e sostenibilità, digitale ed ecologia. «Dal momento che le città nei prossimi decenni non cambieranno così drasticamente la propria morfologia almeno all'esterno: gli elementi architettonici orizzontali e verticali che le compongono (strade, edifici, piazze, ecc.), c'erano ieri, ci sono oggi e ci saranno domani, ciò che sta realmente cambiando è il modo di vivere questo spazio, sempre più integrato, responsivo e resiliente» afferma Ratti, «la convergenza dei sistemi è il primo passo per creare qualcosa di sostenibile per il futuro».

Secondo il fondatore dello studio CRA, infatti «l'obiettivo per il futuro deve essere quello di riportare l'uomo, il cittadino, la società al centro della pianificazione». I sistemi intelligenti e la componente umano-sociale ritornano, quindi, al centro delle dinamiche di progettazione e pianificazione delle città, l'una per attuare processi virtuosi, l'altra per supportare queste azioni attraverso un continuo sistema di feedback. «In questa convergenza fra naturale e artificiale, infatti» continua Ratti «dato che i due sistemi lavorano seguendo meccanismi simili, abbiamo la possibilità di creare dei cicli di feedback – feedback loops – costanti, in grado di rispondere rapidamente alle esigenze della città e dei cittadini».

Nel progetto di Hot Heart, ad esempio, la componente umana partecipa attivamente dalla fase iniziale, a quella di esecuzione e infine a quella di utilizzo dell'infrastruttura, fornendo un contributo centrale ed essenziale al processo di progettazione. Il ruolo del progettista diviene così cruciale nella gestione dei processi, avendo la responsabilità di sfidare ciò che esiste oggi, introdurre possibilità nuove e alternative e, infine, aprire la strada per un futuro desiderabile (Ratti and Claudel, 2016). Le idee, le azioni e i nuovi artefatti possono innescare e orientare lo sviluppo in modo positivo, ma nello spazio urbano questo coinvolge tutti i cittadini. Quando la comunità interagisce con un edificio lo testa, lo giudica e lo valuta, generando delle reazioni che permettono al progettista di precludere gli esiti negativi.

In opposizione a una passata visione deterministica dell'architettura, le prospettive che aprono all'innovazione e al cambiamento futuro dei



nostri ecosistemi urbani non potranno che derivare da un atteggiamento aperto e multidisciplinare da parte del progettista, quello che Carlo Ratti suggerisce di chiamare un 'architetto corale'.

Since the 1980s, the scientific community has shared the thesis that the world has entered a new geological era known as the Anthropocene, in which the exploitation of environmental resources, increased urbanisation and the activities of human beings are significantly and irreversibly changing the Earth's spatial structures, ecosystems and climate, triggering a process of extinction and a new biotic transition. Human action has varied between 50% and 75% of the Earth's surface to make way for cultivated fields and cities, cementing natural areas, promoting soil erosion, destroying biodiversity and polluting the atmosphere, thus dominating 90% of the Earth's ecosystems (EEA, 2019). The increasing awareness of the exhaustibility of our planet's resources has placed sustainability at the centre of current global policies; to address the complex international situation, European and international challenges, together with national policies, have set goals for sustainable development, promoting actions that provide ecological, digital and social innovation (UN, 2022).

The two digital and ecological transitions, as well as the action programmes EU Green Deal¹, Next Generation EU², New European Bauhaus³, New Industrial Strategy for Europe⁴, the measures related to Agenda 2030 and the various cohesion policies (EU, 2021a, 2021b, 2021c, 2021d, 2021e) represent the main challenges of our century to foster the changes necessary for the development of a circular economy, a fairer society and an innovative and more environmentally aware industry through the use of more sustainable processes, technologies and materials. In this sense, the two transitions are closely related: digital technology becomes the enabling infrastructure that makes the ecological transition possible, as it can improve energy efficiency, boost the circular economy, and ensure a better allocation of resources; it also reduces polluting emissions, biodiversity loss and environmental degradation, as well as collects, processes and provides helpful information and data to community members (Ratti and Belleri, 2020).

Digital innovation, therefore, represents a key factor in the transition process, the engine for a new development paradigm aimed at converging scientific and technological services in the fields of energy innovation and environmental sustainability, as well as a new evolutionary mechanism based on experimentation in design processes.

Within this scenario, in line with the dynamic context and innovation policies, lies the work of Carlo Ratti, an architect and engineer by training, who is a founding partner of the international design and innovation firm Carlo Ratti Associati (CRA) based in Turin with branches in New York and London. Ratti graduated from the Turin Polytechnic and the École Nationale des Ponts et Chaussées in Paris and obtained an MPhil and PhD from Cambridge University (UK). Since 2004, he has conducted research at the Massachusetts Institute of Technology (MIT) in Boston, where he di-

rects the Senseable City Lab; the laboratory is characterised by a trans-disciplinary approach that unites urban planners, designers, engineers, physicists, systems mathematicians, economists and sociologists in a shared mission, that of shaping the future.

According to Ratti, «The city is a universe that can be viewed through the lens of economics, sociology or architecture and design, but a workshop focused on cities requires the integration of all disciplines to understand and study them». Referring to the thinking of Nobel Prize-winning economist and automation theorist Herbert Simon⁵ (according to which decision-making is driven by many different sciences, including computer science and cognitive science), the Director of the Senseable City Lab recognises urban spaces as a complex web of evolving systems that can be made sense of by collaboration between disciplines. The numerous studies carried out at MIT have found a concrete application in the projects of the CRA studio that, on various scales of intervention, from product design to installations, from architecture to urban planning, spreads its experiments all over the world. The studio, in fact, aims to explore the intersection between the natural and the artificial in the built environment, exploiting digital technologies as part of a multidisciplinary mission to think, design and make innovation in urban space; this innovation is linked to significant themes in the projects illustrated by Carlo Ratti during the interview conducted on the occasion of the writing of this contribution.

First and foremost, the complex topic of decarbonisation – i.e. the process of converting to an economic system capable of sustainably reducing carbon dioxide to the point of total deprivation – a widely discussed issue in recent world politics, which has seen the European Union renew its commitment to addressing climate and environmental challenges in response to the 2015 Paris Agreement (UNFCCC, 2015). Indeed, the EU is mobilising to adopt a wide range of policies to become the first climate-neutral continent by 2050 (moving to a clean, circular and sustainable economy), promoting actions such as zero pollution, accelerating the shift to sustainable and smart mobility, and producing clean, affordable and secure energy. With the European Climate Act (EC, 2021a), passed in July 2021, the EU has set itself the binding target of achieving climate neutrality by 2050, expecting current greenhouse gas emissions to decrease substantially in the coming decades.

As an intermediate step towards climate neutrality, the EU has also increased its climate ambitions for 2030, committing to reduce emissions by at least 55% by 2030 through a package of new initiatives, the so-called ‘Fit for 55 package’ (EC, 2021b), on climate, energy and transport. The package of proposals aims to provide a coherent and balanced framework for achieving the EU’s climate goals, ensuring a fair and social transition, enhancing digital innovation, boosting industry’s competitiveness and supporting the EU’s position as a

leader in the global fight against climate change. The European Commission, also through the Zero Pollution Plan (EC, 2021c), has proposed a series of changes to the current EU Emissions Trading Scheme (EU ETS) that should lead to an overall reduction of 61% by 2030 compared to 2005. In particular, the proposal aims to implement the global carbon offset and reduction scheme in the transport sector (maritime, aviation, road), industry and energy by modernising and innovating the system.

With this in mind, the CRA office attempts to answer the thorny issue of climate neutrality through the Hot Heart project⁶ (Helsinki, 2021; Figg. 1-4), which is part of a framework of innovative and pioneering actions representing a vanguard in the challenge towards decarbonisation. According to Ratti, «The project will be the largest infrastructure facility of its kind, taking the form of an archipelago of ten energy storage basins – each about 225 metres in diameter – with multi-

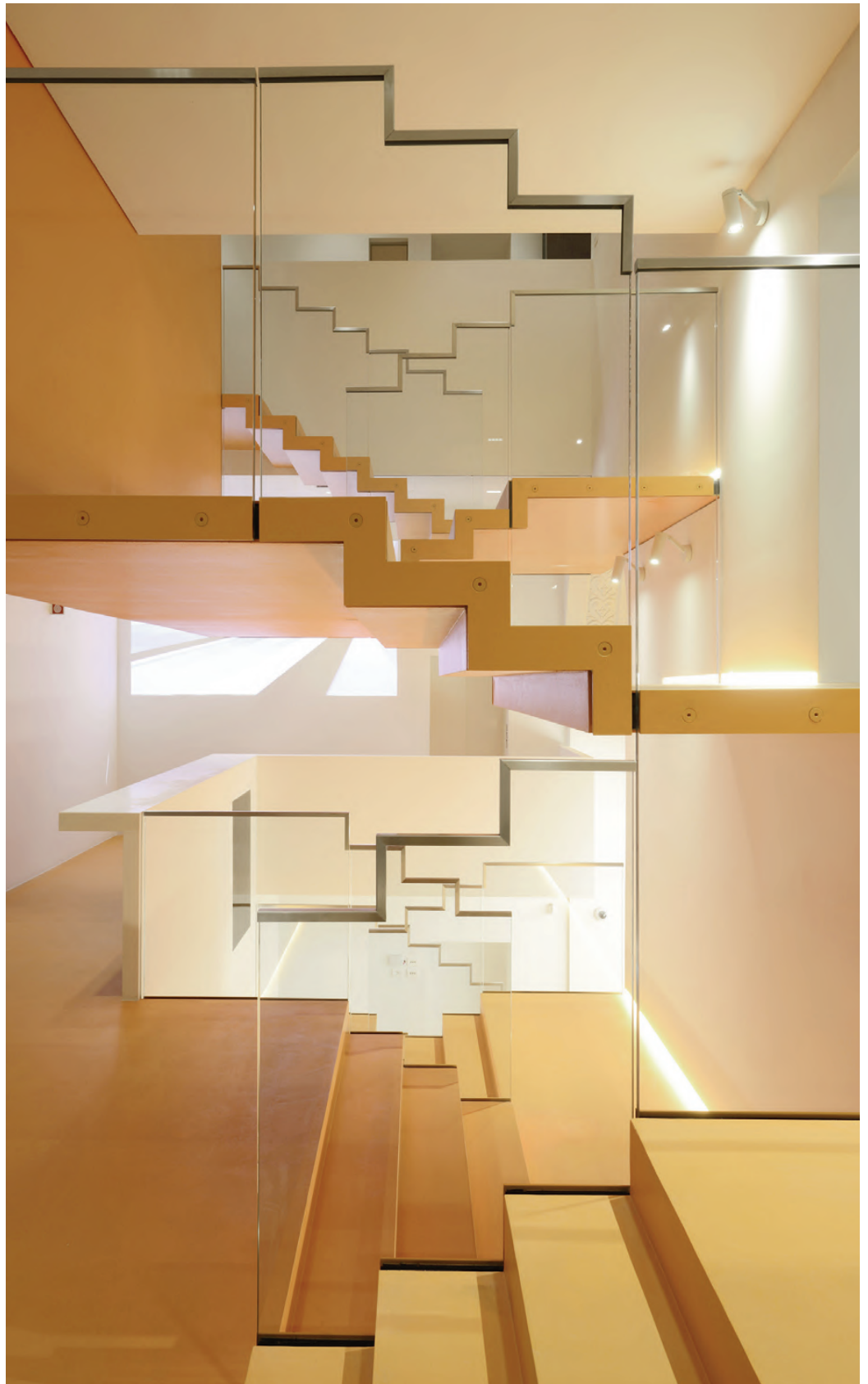


Fig. 13 | MEET in Milan: Vertical core (credit: M. Nastasi, 2020).

Previous page

Figg. 10-12 | MEET in Milan: Theater; Immersive room; Passage (credits: M. Nastasi, 2020).

functional services and recreational activities off the coast of Helsinki. The system will function like a giant thermal battery: low or zero-cost renewable energy will be converted into heat, stored in the reservoirs (capable of holding up to 10 million cubic metres of water) and drawn into the city's heat distribution channels during the winter. Energy production will be developed through seawater heat pumps capable of converting wind, solar and other energy into heat».

In addition to its excellent thermal storage properties, Hot Heart will function as an accessible recreational place inspired by the Finnish concept of *Jokamiehen Oikeudet*, which could be translated as 'every person's right', the right to reflect and relax while peacefully enjoying nature. «Four of the ten hot water reservoirs», continues Ratti, «are enclosed in transparent domes containing Floating Forests, tropical ecosystems of the world's major rainforest areas, heated naturally by the reservoirs below. The Floating Forests will provide visitors with a place to socialise and enjoy the sunlight, even in the harsh northern winters».

Using the latest technology, the innovative, digitised system, managed by artificial intelligence, will synchronise the production and consumption of thermal energy, enabling the city of Helsinki's entire heating needs, estimated at 6,000 GWh, to be covered by the end of the decade, all without CO₂. The project developed as part of the Helsinki Energy Challenge will accelerate the city's transition to carbon neutrality by 2030, pursuing EU targets and, being highly adaptable, could be replicated by other cities in similar climate zones in pursuit of sustainable heating solutions.

In addition to the Hot Heart project, CRA's latest achievement that highlights its vision on how to improve the urban ecosystem through innovative climate remediation strategies, the firm has developed similar designs: *Living Nature* (Milan, 2018), a Milan Design Week 2018 pavilion with a climate-controlled garden; the installation *Sun&Shade* (Dubai, 2017) developed in collaboration with the Dubai Museum of the Future, equipped with a series of mirrors capable of reflecting excessive sunlight and heat; and the *Cloud Cast* project (Dubai, 2015), presented at the 2015 UAE Government Summit, which used motion tracking technology to emit clouds of fog over people to achieve a localised cooling effect.

According to Simon (1996), while the natural sciences are concerned with how things are, design is concerned with how things should be, devising artefacts to achieve goals. Thus, anyone who designs modifies existing situations into preferred situations: designing is, therefore, intrinsically future-oriented to transform the present, bringing about change. From this point of view, design has an 'evolutionary' value, i.e. capable of orienting development positively (Ratti and Claudel, 2015). This principle guides CRA's design and, according to Carlo Ratti, is the basis of innovation for the future.

During the interview, Carlo Ratti illustrates how his firm's research and projects, perfectly aligned with global objectives, address today's complex issues through the experimentation of technological tools to initiate change in the urban ecosystem. Cities, according to current EU policies – see the *Milan Urban Food Policy Pact*⁷ or the *EU Farm to Fork Strategy* (EC, 2020d) – represent the most

sensitive contexts to address global challenges related to environmental sustainability, food cycles, territorial justice, social innovation and co-creation of change (Scalisi and Ness, 2022). Cities concentrate, and will increasingly concentrate, most of those consumers whose individual choices are decisive in defining the evolution of urban and territorial development patterns (Boyer and Ramaswami, 2017; Blay-Palmer et alii, 2018).

Therefore, it became central to think about models capable of integrating the natural landscape within large 'meta-political' development areas (Asher, 2010), aimed at fostering programmatic and social diversity, but also a more effective relationship between natural and artificial landscapes. Substantial parts of the research promoted by the urban and spatial science disciplines have been devoted to reinterpreting the role that these semi-natural and productive hybrid spaces could play as regenerative elements for the definition of new paradigms in the construction of urban forms (Ricci, 2012; Negrello et alii, 2022).

In this interpretative context, the CRA practice responds to global challenges by promoting more efficient urban territorial dynamics in which the essential agrifood component is linked, on the one hand, to social welfare and economic development and, on the other, to environmental quality and a more technological and operational urban dimension, capable of managing and responding to the growth and sustainable development of new metropolitan scenarios (Ratti and Claudel, 2016). Within this innovative framework, urban agriculture can contribute to ensuring healthier and more efficient food processes linked to algorithmic optimisation of environmental and economic parameters but also promote new energy and waste cycles, reduce water consumption and improve the management of environmentally resilient responses. «This is the aim of the *Jian Mu Tower*⁸ (Shenzhen, 2021)», explains Ratti, recounting one of the firm's most recent projects. «The *Jian Mu Tower* [conceived to occupy the last available lot in Shenzhen's Central Business District] is a 218-metre-high multipurpose building that introduces the concept of the sustainable skyscraper, especially in terms of food supply, destined to become the world's first 'farmscraper'» (Figg. 5-9).

Today, only one-third of the world population's food needs can be supplied from local sources; suffice it to say that in a city the size of London, 30 million meals are produced, transported, cooked, consumed and disposed of, equal to the entire agricultural area currently farmed in the UK. This consumptive system of provisioning consumes ten calories of fossil fuel energy to produce a single calorie of food, significantly impacting the environment in terms of energy and pollution (Pollan, 2006; Steel, 2009; Jain et alii, 2018). In this sense, it becomes central to ask to what extent urban agriculture can become a supporting structure for the city, considering the new technological possibilities related to production and distribution systems, the interest in a quality food chain, urban re-naturalisation processes and the economic-social impacts of cities.

«Small-scale urban agriculture is already present in cities all over the world, from Paris to New York to Singapore», Ratti replies, «however, the *Jian Mu Tower* has reached a higher level. This approach can play an important role in the design of

future cities, as it addresses one of today's most pressing architectural challenges, namely integrating the natural world into building design». Along its 10,000 square metre façade, the tower houses an innovative vertical hydroponic farm capable of producing around 270,000 kilograms of food per year: it is enough to cover the needs of about 40,000 people, creating a self-sufficient food supply chain that includes growing, harvesting, selling and consuming the crops, all within the same building.

«This pioneering 'farmscraper' will minimise the production chain, reducing the impact on the environment and, through the artificial intelligence of a 'virtual agronomist', will be able to manage resources most efficiently and sustainably». The CRA office also envisaged that the 90,000 square metres of floor space on 51 levels will house state-of-the-art cultivation systems and landscape terraces; they will contribute to the development of biodiversity, hosting a wide variety of flora (water lilies, ferns and lychees) by taking advantage of Shenzhen's abundant rainfall with a sustainable irrigation system.

The *Jian Mu Tower* is the latest example of CRA's efforts to incorporate natural and agricultural systems into urban structures. Projects that share a similar sensibility include: *VITAE* (Milan, 2019), a building complex with a 200-metre vineyard accessible to the public as its centrepiece; the *CapitaSpring Tower* (Singapore, 2021), developed in collaboration with BIG-Bjarke Ingels Group, a 280-metre-high building featuring a multi-level indoor forest; and finally, the Shenzhen skyscraper proposal for an intelligent supermarket, preceded by the *Future Food District* (Milan, 2015) prototype for the 2015 Milan World Expo designed for Coop Italia.

The firm's response aims decisively at promoting the integration of greenery in the built urban ecosystem, taking advantage of the great possibilities triggered by technological-digital progress, which, according to Carlo Ratti, makes it possible to overcome the division between the artificial and the natural world. «The digital does not represent something as an end in itself, but a way to overcome the division between artificial and natural», explains Ratti. «Networks, data, sensors, artificial intelligence breathe new life into the artificial world, allowing the city, a building or an object to behave responsively and dynamically, like something living, like an 'organism'. Like the human body, the city also possesses three main types of technological 'enablers' that enable it to 'live': the sensors that enable information to be collected, the artificial intelligence that processes this data in real-time in an increasingly sophisticated manner, and the actuators that transform information into actions».

Ratti continues: «Quite simply, if we imagine the network of traffic lights in a city, technology today allows it to detect in real-time how vehicles are distributed: an intelligent system processes the information and elaborates a strategy to improve vehicle flows; in response, the traffic lights, acting as actuators, change colour, optimising transit in the urban network. This concept can be extended from the traffic of a city to the domotics of a building, but more generally to all those systems that, thanks to digital technology, are becoming almost sentient. It allows us to rethink the divide between

the natural and the artificial, which is at the root of today's major problems, as well as better to understand our cities and, thanks to digital tools, explore opportunities to redesign the future». It is, in fact, a well-known fact that technological progress in recent decades has radically changed our lives as well as society, the economy, space, culture, health and the environment, reaching a point of no return (Gerd, 2019). «Emerging technologies such as artificial intelligence, combined with the rise of big data, have transformed almost every aspect of our everyday lives, the way we interact with each other and our built environment; think of the maturation of the Internet of Things and its profound effect on urban spaces».

In order to observe the transformations of the urban world in recent decades, we can consider both the influence of technological progress as well as social and even health-related events. In the first case, starting roughly in the 1960s, a path was set in motion that would gradually lead to the creation of the Internet and the mass diffusion of the World Wide Web, causing profound changes in the ways of living, working, buying, learning, communicating, and entertaining oneself. This discovery led the post-war analogue world into a new digital era. The second, relatively recent, manifested itself at the dawn of the 2020s through the Covid-19 pandemic; this viral contagion threw the entire planet into a state of emergency, prompting states, regions and citizens to transcend their condition in favour of the collective interest, pursuing a common purpose.

Although the two events are seemingly distant, both have strongly affected and changed the economic, urban and social dimensions, from the global to the local scale, from the metropolis to the neighbourhood, and from the community to the individual. Both are unexpected: one opened up infinite prospects for development, shortening time and creating connections, and the other allowed for the rediscovery of domestic space and collective awareness; both generated new habits and gave rise to new dynamics, inspiring initiatives that would also not have been possible one without the other. It is enough to think of all the entertainment activities born digital and aimed at making up for the lack of a physical meeting space (schools, sports and recreational facilities, theatres, museums, etc.), civic hacking actions (a creative, often technological approach to solving problems of civic interest) that have found alternative and creative solutions in response to emergencies using digital and interactive tools (Lovari and Iannelli, 2017), solidarity initiatives by the social world, new hybrid marketing strategies through technological devices, and much more.

Considering the epochal changes that this technological-emergency dimension has generated during the post-pandemic phase, experiments have been launched to rethink the relationship between space-human-digital to respond to the complex dynamics created. So, what is the role of physical space within a digital world?

According to Ratti, «Digital innovation to cope with the pandemic emergency allowed people to continue to live and work remotely 'smart' in the new domestic context. The limited physical space, however, induced a kind of isolation within a parallel virtual reality. To overcome this detachment and bring communities together again, the CRA studio conceived the MEET⁹ (Milan, 2020) as a

physical and technological place capable of fostering serendipity and unexpected connections between people. This role has always been played by architecture that shapes physical space, an element that the digital realm lacks». In the post-pandemic political strategies, the motto of the City of Milan, for example, was the 'return to a new normality', the idea of embracing a new everyday life, the result of irreversible events.

Where the pandemic has imposed distance, however, technology has brought it closer. It is within this new digital culture that the MEET project intends to investigate the meaning of physical space in an increasingly digitised world (Figg. 10-13): «the project seeks to achieve this through the hybridisation of functions, i.e. the possibility for each space to host different activities simultaneously, facilitating the generation and circulation of new ideas». The central vertical square (15 metres high) best uses this design approach; still, it extends to the whole complex through the exhibition, conference and performance halls, digital installations and immersive rooms.

A series of projection systems and advanced screens scattered throughout the building allow people to access MEET's digital archive in unexpected ways, echoing the idea of 'ubiquitous computing' put forward by scientist Mark Weiser (1991), who argued that digital technology would become so pervasive that it would 'recede into the background of our lives'. In this sense, the project transforms architecture itself into a means of sharing knowledge and culture through digital innovation, putting the individual back at the centre of the project. The MEET perfectly synthesises the type of design action that has emerged in the aftermath of the pandemic, in which a diffuse public space and new mixed-use places are rethought to reconfigure a spatial model that is less defined in its uses but with a qualitative contribution to the whole.

While the Milanese Centre for Digital Culture and Creative Technologies aims to recover the relationships between people, the Parco Romana¹⁰ project (Milan, 2021) aims to reconnect the city's spaces (Figg. 14-18). Ratti explains that «the project rethinks the large railway yard that has divided the area for more than a century, stitching up the fragmented urban context and reconnecting the surrounding neighbourhoods through the creation of a new large heterogeneous and dynamic public space rooted in the principles of inclusiveness, biodiversity, resilience, connectivity and well-being». Aligning with the objectives of the Paris Agreement, the European Green Deal and the National Recovery and Resilience Plan (Italian Government, 2021), Romana Park is an innovative multifunctional green infrastructure that returns an accessible and multifunctional green space to the city.

According to Ratti, «The park itself becomes a unique topographical element that extends above the railway line, which currently divides the site, creating an elevated linear green route that helps to contain, rather than obliterate, the existing railway infrastructure by incorporating hundreds of trees that provide pedestrian paths with unexpected views of the area». Connected to Milan's Green Railways environmental network, the new ecological zone combines ecological and human systems (woodlands and wetlands interspersed with community gardens) to create an autonomous

but integrated model of urban growth: «Low-carbon construction and green technologies provide renewable energy, clean water and fresh food to ensure that the project becomes an innovative resource generator in an inclusive environment rich in biodiversity and community services that represents a paradigm shift in the sustainable regeneration of Milan».

Central is the role that infrastructure returns to play in the territory, no longer understood as a simple connecting element but as a strategic tool capable of activating virtuous processes aimed at promoting environmental and social resilience, generating regeneration actions and developing a series of ecosystem services inside and outside the city. Is it possible to rethink planning systems to reprogram urban space as an incubator of virtuous, inclusive, sustainable and innovative actions?

The new urban and territorial approach, to which cities should approach, nowadays appeals to a dynamic, evolutionary and reticular, more relational, intelligent and responsive systematics (Gausa, 2015), leaning towards a new paradigm of integration between artificial and natural, technology and sustainability, digital and ecology. «Since cities in the coming decades will not change their morphology so drastically, at least externally: the horizontal and vertical architectural elements that compose them (streets, buildings, squares, etc.), were there yesterday, are there today and will be there tomorrow, what is changing is the way of experiencing this space, which is increasingly integrated, responsive and resilient», says Ratti, «the convergence of systems is the first step towards creating something sustainable for the future».

According to the founder of CRA, «the goal for the future must be to put man, the citizen, society back at the centre of planning». Intelligent systems and the human-social component, therefore, return to the centre of the dynamics of city design and planning, one to implement virtuous processes and the other to support these actions through a continuous feedback system. «In this convergence between natural and artificial, in fact», continues Ratti, «given that the two systems work according to similar mechanisms, we can create constant feedback loops, capable of responding rapidly to the needs of the city and its citizens».

In the Hot Heart project, for example, the human component actively participates from the inception phase to the execution phase and finally to the utilisation phase of the infrastructure, providing a central and essential contribution to the design process. The designer thus becomes crucial in managing processes, being responsible for challenging what exists today, introducing new and alternative possibilities and, finally, paving the way for a desirable future (Ratti and Claudel, 2016). Ideas, actions and new artefacts can trigger and direct development positively, but in urban space this involves all citizens. By interacting with a building, the community tests, judges and evaluates it, generating reactions that allow the designer to preclude adverse outcomes.

In opposition to a past deterministic view of architecture, the prospects for innovation and future change in our urban ecosystems can only come from an open and multidisciplinary attitude from the designer, what Carlo Ratti suggests we call a 'choral architect'.

Acknowledgements

The text is based on an interview conducted with Carlo Ratti, founder of the CRA – Carlo Ratti Associati studio; Giorgia Tucci edited the contribution.

Notes

1) For more information, see the webpage: ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_19_6691 [Accessed 20 November 2022].

2) For more information, see the webpage: next-generation-eu.europa.eu/index_en [Accessed 20 November 2022].

3) For more information, see the webpage: new-european-bauhaus.europa.eu/index_en [Accessed 20 November 2022].

4) For more information, see the webpage: ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/europe-fit-digital-age/european-industrial-strategy_en#documents [Accessed 20 November 2022].

5) Simon Herbert Alexander (Milwaukee 1916 – Pittsburgh 2001), economist and automation theorist, won the Nobel Prize in Economic Sciences in 1978. His interests ranged from the sociology of industrial organisation to decision theory, from the problems of artificial intelligence to computer science, and from psychology to business economics. In Organisation (1958), he elucidated fundamental aspects of the sociology of industrial organisation and decision theory; in The Sciences of the Artificial (1969), he made significant contributions to issues of artificial intelligence.

6) CRA developed Hot Heart – Carlo Ratti Associati in cooperation with Ramboll (General Engineering), Transsolar (Climate Engineering), Danfoss Leanheat® (Demand Management Engineering), Schneider Electric (Technology Partner for Sustainability and Energy Efficiency), OP Financial Group (Financial Analysis), Schlaich Bergemann partner (Lightweight Structural Engineering) and Squint/Opera (Communications Partner).

7) For more information, see the webpage: milanurbanfoodpolicypact.org/the-milan-pact/ [Accessed 20 November 2022].

8) CRA developed Jian Mu Tower – Carlo Ratti Associati in collaboration with ARUP (Structures, MEP and Façade), Lapis Bureau, ZERO (Hydroponic Farming System), Gross Max (Landscape Design), iart, studio for media architectures (Media Façade and Contents), South China University of Technology, Politecnico di Torino (Design Consultant).

9) CRA developed MEET Digital Culture Centre – Carlo Ratti Associati in cooperation with Ai Studio (Preliminary setting of MEP and environmental strategy), Studio Del Giacco (Execution), INGEMBP (Structural design), Artemide (Lighting design), Onleco (Acoustic consultancy), Audviser (Audio-video technologies), Cariplo Foundation.

10) Parco Romana was developed by an international team consisting of OUTCOMIST, Diller Scofidio + Renfro, PLP Architecture, CRA – Carlo Ratti Associati and Arup.

References

Asher, F. (1997), “Métapolis Ou L’Avenir Des Villes”, in *Géocarrefour*, vol. 72, n. 2, p. 126. [Online] Available at: persee.fr/doc/geoca_0035-113x_1997_num_72_2_6254 [Accessed 20 November 2022].

Blay-Palmer, A., Santini, G., Dubbeling, M., Renting, H., Taguchi, M. and Giordano, T. (2018), “Validating the city region food system approach – Enacting inclusive, transformational city region food systems”, in *Sustainability*, vol. 10, issue 5, 1680, pp. 1-23. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su10051680 [Accessed 20 November 2022].

Boyer, D. and Ramaswami, A. (2017), “What is the contribution of city-scale actions to the overall food system’s environmental impacts? – Assessing Water, Greenhouse Gas, and Land Impacts of Future Urban Food Scenarios”, in *Environmental Science & Technology*, vol. 51, issue 20, pp. 12035-12045. [Online] Available at: doi.org/10.1021/acs.est.7b03176 [Accessed 20 November 2022].

Gerd, L. (2019), *Tecnologia vs umanità – Lo scontro prossimo venturo*, Egea, Milano.

Jain, S., Newman, D., Cepeda-Márquez, R. and Zeller, K. (eds) (2018), *Global food waste management – An implementation guide for cities – Full report*. [Online] Available at: worldbiogasassociation.org/wp-content/uploads/2018/05/Global-Food-Waste-Management-Full-report-pdf.pdf [Accessed 20 November 2022].

EC – European Commission (2021a), *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 20 November 2022].

EC – 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:52021DC0550 [Accessed 20 November 2022].

EC – European Commission (2021c), *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – Pathway to a Healthy Planet for All EU Action Plan – ‘Towards Zero Pollution for Air, Water and Soil’*, document 52021DC040, 440 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:3A52021DC0400&qid=1623311742827 [Accessed 20 November 2022].

EC – 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 Farm to Fork Strategy for a fair, healthy and environmentally-friendly food system*, document 52020DC0381, 381 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020DC0381 [Accessed 20 November 2022].

EEA – European Environmental Agency (2019), *Land and soil in Europe – Why we need to use these vital and finite resources sustainably*. [Online] Available at: eea.europa.eu/publications/eea-signals-2019-land/download [Accessed 28 November 2022].

EU – European Union (2021a), *Regulation (EU) 2021/1056 of the European Parliament and of the Council of 24 June 2021 establishing the Just Transition Fund*, document 32021R1056, PE/5/2021/REV/1. [Online] eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:3A32021R1056 [Accessed 28 November 2022].

EU – European Union (2021b), *Regulation (EU) 2021/1057 of the European Parliament and of the Council of 24 June 2021 establishing the European Social Fund Plus (ESF+) and repealing Regulation (EU) No 1296/2013*, document 32021R1057, PE/42/2021/INIT. [Online] eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:3A32021R1057 [Accessed 28 November 2022].

EU – European Union (2021c), *Regulation (EU) 2021/1058 of the European Parliament and of the Council of 24 June 2021 on the European Regional Development Fund and on the Cohesion Fund*, document 02021R1058-20210630, consolidated text. [Online] eur-lex.europa.eu/eli/reg/2021/1058 [Accessed 28 November 2022].

EU – European Union (2021d), *Regulation (EU) 2021/1059 of the European Parliament and of the Council of 24 June 2021 on specific provisions for the European territorial cooperation goal (Interreg) supported by the European Regional Development Fund and external financing instruments*, document 32021R1059, PE/49/2021/INIT. [Online] eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021R1059&from=IT [Accessed 28 November 2022].

EU – European Union (2021e), *Regulation (EU) 2021/1059 of the European Parliament and of the Council of 24 June 2021 laying down common provisions on the European Regional Development Fund, the European Social Fund*

Plus, the Cohesion Fund, the Just Transition Fund and the European Maritime, Fisheries and Aquaculture Fund and financial rules for those and for the Asylum, Migration and Integration Fund, the Internal Security Fund and the Instrument for Financial Support for Border Management and Visa Policy, document 32021R1060, PE/47/2021/INIT. [Online] eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:3A32021R1060 [Accessed 28 November 2022].

Gausa, M. (2015), “City Sense – Territorializing Information”, in Institute for Advanced Architecture of Catalonia (ed.), *City Sense – 4th Advanced Architecture Contest – Shaping our environment with real-time data*, Actar Publisher, Barcelona, pp. 6-13.

Governo Italiano (2021), *Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza*. [Online] Available at: italiadomani.gov.it/home.html [Accessed 20 November 2022].

Lovari, A. and Iannelli, L. (2017), “Open data e civic hacking – Pratiche per una cultura del governo aperto”, in *Mediascapes Journal* vol. 8, pp. 265-277. [Online] Available at: iris.unica.it/retrieve/handle/11584/248101/297172/LOVARI_IANNELLI_Open%20data%20e%20civic%20hacking.pdf [Accessed 28 November 2022].

Negrello, M., Roccaro, D., Santus, K. and Spagnolo, I. (2022), “Progettare l’adattamento – Resilienze di agricoltura urbana nel contesto europeo | 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 20 November 2022].

Pollan, M. (2006), *The Omnivore’s Dilemma – A Natural History of Four Meals*, The Penguin Press, London.

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 28 November 2022].

Ratti, C. and Claudel, M. (2016), *City of Tomorrow – Sensors, Networks, Hackers and the Future of Urban Life*, Yale University Press, New Haven (CT).

Ratti, C. and Claudel, M. (2015), *Futurecraft*, IAAC bits, n. 3.3.1, IAAC, Barcelona.

Ricci, M. (2012), *New Paradigms*, ListLab, Trento.

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 20 November 2022].

Simon, H. A. (1996), *The Sciences of the Artificial*, The MIT Press.

Steel, C. (2009), *Hungry City – How food shapes our lives*, Random House, London.

UN – United Nations (2022), *The Sustainable Development Goals Report, 2022*. [Online] Available at: unstats.un.org/sdgs/report/2022/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2022.pdf [Accessed 20 November 2022].

UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change (2015), *Adoption of the Paris agreement – Proposal by the President*, Draft decision –/CP.21. [Online] Available at: unfccc.int/documents/9064 [Accessed 20 November 2022].

Weiser, M. (1991), “The Computer for the 21st Century – Specialized elements of hardware and software, connected by wires, radio waves and infrared, will be so ubiquitous that no one will notice their presence”, in *Scientific American*, September 1991, pp. 94-104. [Online] Available at: ics.uci.edu/~djp3/classes/2012_09_INF241/papers/Weiser-Computer21Century-SciAm.pdf [Accessed 28 November 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

Mario Bisson, Stefania Palmieri, Alessandro Ianniello, Luca Botta

ABSTRACT

La disciplina del Transition Design (TD) si fonda su un framework e una metodologia progettuale che pongono come priorità il benessere sociale e ambientale e gli obiettivi di resilienza locale e cambiamenti radicali nei contesti socio-tecnici. Terry Irwin (2019) considera fondamentali due aspetti del TD: l'idea che intere società si troveranno ad affrontare una transizione verso futuri sostenibili e la consapevolezza che ciò comporterà cambiamenti a livello sistemico. Il presente contributo, che si inserisce all'interno del dibattito disciplinare in corso, indaga le potenzialità di nuovi driver progettuali come il valore territoriale e la resilienza locale legati a casi studio specifici che possono essere assunti come buone pratiche. Il risultato è un framework teorico, in otto linee guida, che ha lo scopo di rispondere ad alcune problematiche del processo di TD e di modellizzare requisiti poi replicabili.

The Transition Design (TD) discipline is based on a design framework and methodology that prioritises social and environmental well-being and the goals of local resilience and radical changes in socio-technical contexts. Terry Irwin (2019) sees two aspects of TD as fundamental: the idea that entire societies will face a transition to sustainable futures and the realisation that this will entail changes at the systemic level. As part of the ongoing disciplinary debate, this contribution investigates the potential of new design drivers, such as territorial value and local resilience, linked to specific case studies that can be seen as best practices. The result is a theoretical framework of eight guidelines that aims to answer some of the TD process's problems and model the requirements that can then be replicated.

KEYWORDS

design per la transizione, innovazione sociale, design per il bene comune, coscienza di luogo, resilienza locale

design for transition, social innovation, design for the common good, a consciousness of place, local resilience

Mario Bisson, Architect, is an Associate Professor at the Department of Design, Politecnico di Milano (Italy). He is the Scientific Director of the Interdepartmental Laboratory EDME (Environmental Design and Multisensory Experience) and the Colour Laboratory. Mob. +39 331/726.56.20 | E-mail: mario.bisson@polimi.it

Stefania Palmieri, PhD, is an Associate Professor at the Department of Design, Politecnico di Milano (Italy). Mob. +39 335/675.93.14 | E-mail: stefania.palmieri@polimi.it

Alessandro Ianniello is a Product Designer for Innovation, a PhD Candidate and a Research Fellow at the Department of Design, Politecnico di Milano (Italy), where he also works as a tutor for some workshop courses. Mob. +39 338/538.12.48 | E-mail: alessandro.ianniello@polimi.it

Luca Botta, Product Designer for Innovation, is a Junior Researcher at the EDME Laboratory (Environmental Design and Multisensory Experiences), Department of Design, Politecnico di Milano (Italy). Mob. +39 328/148.01.04 | E-mail: luca.botta@mail.polimi.it



Il paper si inserisce all'interno di una discussione accademica sulle tematiche dell'innovazione e della transizione sociale, attraverso operazioni di Design mirate alla costruzione di sostenibilità diffusa. A tale scopo il paper è strutturato con una prima parte introduttiva sulla disciplina del Transition Design (TD), indagata in maniera più teorica per fornire gli elementi utili a comprendere un processo di progettazione per transizioni sostenibili e valutare le potenzialità della disciplina nel re-orientamento dei comportamenti socio-tecnici, evidenziandone le peculiarità rispetto a discipline più longeve e strutturate, come il Design per l'Innovazione Sociale e il Design per la Sostenibilità.

La seconda parte si interroga sul ruolo che il TD può avere nel declinare driver di innovazione quali il bene comune, il valore territoriale e la resilienza, al fine di favorire i suddetti processi di transizione, proponendo un'analisi qualitativa di casi studio, mirata a indagare lo stato dell'arte e a definire delle linee guida progettuali che possano contribuire all'ambito di interesse. Si conclude, quindi, con la proposizione di un framework embrionale di Design del Prodotto Sistemico, ibridato e derivato dalla disciplina del TD, e applicato agli ambiti del territorio e del bene comune.

Transition Design e processo progettuale | Il Transition Design, o design per la transizione, è una disciplina teorizzata a partire dal 2015 dalla Scuola del Design del Carnegie Mellon di Pittsburgh (USA); nel 2019 è stata pubblicata la prima monografia sul numero 73 della rivista Cuaderno dal titolo Design in Perspective – Transition Design che fornisce un'ampia base teorica, una panoramica sui primi corsi didattici e i primi casi studio legati a questa disciplina. Nel 2022 è stata pubblicata una seconda monografia sul numero 157 della stessa rivista con il titolo Transition Design che arricchisce l'apparato teorico e, in particolare, amplia il ventaglio di casi studio derivati da quest'ambito progettuale.

Il campo di interesse del TD è la progettazione di strategie sistemiche rivolte a futuri a medio termine (dai trenta ai cinquant'anni) per affrontare quelle che possono essere descritte come questioni complesse e interconnesse presenti a più livelli di un sistema. Alla luce dello stretto legame tra società e problematiche complesse, in un processo di Design per le Transizioni si evidenzia la necessità di progettare per la transizione dei comportamenti sociali verso futuri sostenibili (Irwin, 2019) e di comprendere le dinamiche della complessità per determinare cambiamenti radicali a livello sistemico. In questo senso, Ezio Manzini (2015) parla di transizione verso la sostenibilità come un processo di apprendimento sociale in cui gli esseri umani scopriranno gradualmente (per tentativi ed errori) come vivere bene consumando (molto) meno e rigenerando la qualità dell'ambiente, sia dell'ecosistema globale sia del contesto locale in cui vivono. In altre parole, il processo di transizione deve risultare da una trasformazione percepita, da chi la vive, come un miglioramento delle condizioni di vita, individuali e collettive.

Riorientare i comportamenti attraverso azioni di Design significa affrontare la complessità del presente e di conseguenza ampliare gli obiettivi della disciplina stessa; secondo Franco Achilli (2019) il Design deve essere in grado di ricom-

porre saperi e desideri, di costruire figure e ruoli intellettuali in movimento, dotati di bagagli complessi, caratterizzandosi – nei confronti di progettisti e utenti – con quella 'intenzione' che consente di affrontare le grandi minacce del presente. Ciò che propone Achilli è affrontare i wicked problems, definibili come una classe di problemi complessi, sistemici e apparentemente irrisolvibili, composti da elementi che non sembrano tra loro correlati, ma che, in realtà, sono interdipendenti, ognuno dei quali si manifesta come a sé stante, su più livelli di scala (Coyne, 2005; Irwin, 2019).

Secondo Irwin, Kossoff e Tonkinwise (2015), le cause alla radice di queste minacce spesso coinvolgono le dinamiche sociali che le permeano; quindi, un nuovo approccio alla loro risoluzione dovrebbe anche valutare le preoccupazioni, le relazioni conflittuali e le norme culturali degli stakeholder come parte del quadro della complessità. Un processo di Transition Design si basa su tre momenti distinti (Irwin, 2019):

a) Riformulazione del presente e del futuro – in questo step, gli stakeholder riformulano e rimappano il problema nel presente e nel futuro, co-creando visioni condivise e desiderabili e sviluppando i 'percorsi di transizione' e le strategie per realizzarle; il principale scopo di questo processo è costruire il Transition Design Pathways (Fig. 1), cioè un percorso progettuale che abbia come obiettivo la risoluzione del problema complesso, a partire dall'intercettazione delle conseguenze da esso causate;

b) Progettazione degli interventi – questa fase colloca sia il problema complesso sia la visione in un contesto spaziale e temporale ampio e multilivello, scomponendolo secondo questi due vettori, in modo da indagarne approfonditamente tutti gli aspetti; indagare i contesti di riferimento dei sistemi complessi è una delle peculiarità del processo di TD e permette da un lato di comprenderne le ramificazioni e le conseguenze attuali (guardando ai livelli superiori e inferiori dei sistemi) e come essi si sono evoluti, dall'altro di identificare le loro cause profonde (nel passato) e accompagnare intenzionalmente il sistema nella transizione verso i futuri preferibili su più orizzonti temporali; il modello di riferimento per questa fase è il Multi Level Perspective (Fig. 2) proposto da Frank W. Geels e Johan Schot (2007) e utilizzato per studiare le trasformazioni dei grandi sistemi socio-tecnici (le interazioni tra le persone e le complesse infrastrutture della società) su lunghi periodi di tempo;

c) Attesa e osservazione – per attivare e catalizzare il cambiamento in questi macro-sistemi sono necessari interventi multipli, a più livelli di scala e su più orizzonti temporali; data l'incertezza e l'ambiguità delle perturbazioni che possono essere innescate nel sistema risulta complesso prevederne gli sviluppi e le potenziali conseguenze nello stesso; ciò comporta degli intervalli tra periodi di attività e fasi di osservazione e riflessione per comprendere come il sistema ha risposto alle suddette.

In quest'ultima fase si possono leggere delle differenze rispetto ad approcci più tradizionali alla progettazione: processi di design per l'innovazione sociale e per la sostenibilità ambientale prevedono infatti una ciclicità (e non linearità) che si ripete con un'alta frequenza; il TD presenta invece un approccio ciclico più lento rispetto ai modelli sopracitati, dovuto alla scala sistemica della complessità affrontata e alla sopracitata ambiguità del

contesto di riferimento; in un processo di TD, quest'ultima fase risulta essere quella meno sviluppata in quanto è difficile misurare, nel breve periodo, l'impatto di uno o più progetti di transizione all'interno di un sistema socio-tecnico complesso.

Nella presente trattazione il prodotto assume il potenziale di attivatore e facilitatore per l'applicazione di strategie per la transizione, ma anche di strumento in grado di contribuire a implementare la fase di attesa e di osservazione, riuscendo a rendere più dinamico e responsivo al cambiamento l'intero processo di TD. Se il TD si posiziona, in parte, nell'area di sovrapposizione tra il Design per la Sostenibilità, il Design per l'Innovazione Sociale e il Design per l'Innovazione Sistemica (Fig. 3) e da questi riprende alcuni principi fondamentali, quali la salvaguardia dell'ambiente, la sostenibilità sociale da un punto di vista umano e l'innovazione dei sistemi, spesso da un punto di vista economico e di mercato, ciò che caratterizza il Design per le Transizioni è contribuire a cambiamenti radicali a partire dalla considerazione che l'ambiente sia uno stakeholder al pari dell'uomo e non solo un elemento da preservare e salvaguardare; questo tipo di progettazione prevede l'interconnessione reciproca di soluzioni che impattino su più scale temporali (coinvolgendo le generazioni future) e su più scale del sistema socio-tecnico di riferimento (sviluppando delle strategie di transizione).

Il TD cerca quindi di facilitare i processi di transizione sostenendo, collegando e sviluppando interventi per cambiare intenzionalmente valori, tecnologie, pratiche sociali e infrastrutture, rimodellando al contempo le interazioni tra sistemi socio-tecnici e socio-ecologici (Geschin and Gaziulusoy, 2019). Una componente fondamentale e peculiare del TD è rappresentata dall'integrazione di strumenti e metodologie derivanti dagli studi sul futuro (Irwin, 2019), che non si limitano alla costruzione di scenari futuribili, ma mirano alla definizione di strategie, processi e progetti finalizzati al raggiungimento di futuri condivisi, desiderabili e sostenibili, e delle strade necessarie per realizzarli (Fig. 4). Esso richiede quindi, come già affermato, visioni multiscalarari, che coinvolgano gli individui e gli ecosistemi del pianeta (Coward and Maione, 2022).

I driver progettuali per le transizioni | La disciplina del TD mette in evidenza la necessità di individuare soluzioni che siano da ponte tra un approccio innovativo, capace di attivare trasformazioni radicali in un ordinamento politico o sociale (Treccani, 2022), e uno sostenibile, in grado cioè di soddisfare le necessità del presente senza compromettere quelle delle generazioni future. Proprio in chiave futura, questi due termini necessitano di essere connotati in maniera differente da quanto avviene nella cultura contemporanea. Se il termine innovazione è spesso legato al concetto di crescita, il termine sostenibilità viene spesso utilizzato in visioni puntuali che non ne considerano, in modo esaustivo, la complessità scalare, l'aspetto temporale e la dimensione naturale come reale stakeholder di progetto. Emilija Veselova e Idil Gaziulusoy (2021) sottolineano, infatti, la necessità di progettare non solo per gli esseri umani, suggerendo un approccio non più human-centred ma life-centred, riconoscendo quindi il valore di attori non-umani e di attori non-progettisti, co-

me stakeholder che possono influenzare il processo di transizione e i suoi risultati.

In questa visione quindi, si individuano, o si riscoprono, alcuni driver di progettazione che permettano di ripensare gli obiettivi della disciplina, conseguentemente al crescente livello di complessità sistemica che permea la nostra realtà. Innanzitutto, riprendendo i contributi di diversi ricercatori (Leff, 2009; Dash, 2016; Bruni, 2020) e riferendosi a un contesto caratterizzato da un'elevata complessità e incertezza, è necessario considerare l'essere umano come parte di una comunità che, a sua volta, fa parte di un ecosistema; per la disciplina del Design ciò significa intendere la collaborazione, la cooperazione e la naturale interdipendenza come base di un processo progettuale riferibile ad approcci e visioni di tipo olistico. In questo modo, l'ambiente, il territorio e i luoghi diventano dei beni comuni ('commons'; Ostrom, 2009) dei quali 'avere cura' in quanto di vitale importanza per il valore locale, culturale e temporale che hanno per una comunità.

Charlotte Hess ed Elinor Ostrom (2007) sottolineano come i commons debbano essere condivisi tra più utenti; infatti, la locuzione 'bene comune' contempla che ogni stakeholder, all'interno di una comunità relativamente ampia, abbiano il diritto di dividerne un determinato aspetto. Essi sono fondamentali per tre principali ragioni: a) sono condivisi e ritenuti importanti poiché al centro del benessere comune da diverse generazioni (aspetto temporale); b) la società segue le regole per la cura dei commons (aspetto comunitario); c) ogni individuo contribuisce al mantenimento dei commons (aspetto olistico). La ri-scoperta dei commons passa, quindi, attraverso una nuova etica territoriale e comunitaria, dalla quale anche il design deve essere influenzato per risolvere la preoccupante disconnessione culturale tra il mondo antropico e la biosfera.

Questa disconnessione distoglie l'attenzione dalla cura di ciò che è per gli esseri umani di supporto vitale, cioè l'ambiente; per sanarla, è necessario un obiettivo condiviso, a cui gruppi diversi di persone possano riferirsi e sostenere, a prescindere dalle loro differenze (Thackara, 2019).

Alberto Magnaghi (2020) chiama questo processo di 'sanamento' come ritorno alla 'coscienza di luogo', una ri-appropriazione della conoscenza dei valori nascosti del territorio da parte dei propri abitanti; in altre parole, evidenzia la necessità di focalizzarsi sul valore dei beni comuni territoriali (materiali e relazionali), in quanto elementi essenziali per la riproduzione della vita individuale e collettiva, biologica e culturale. In questa accezione, il patrimonio territoriale è da considerarsi come un sistema di relazioni sinergiche tra qualità peculiari dell'ambiente fisico (clima, flora, fauna, assetto geo-idromorfologico, sistemi e neosistemi ambientali), dell'ambiente costruito (permanenze e persistenze di lunga durata, tipi edilizi urbani e territoriali, tecniche e materiali, qualità della massa territoriale, caratteri del paesaggio) e dell'ambiente antropico (modelli socio-culturali, peculiarità linguistiche, caratteri del milieu).

Sviluppando una coscienza individuale e collettiva intorno a ciò che si produce e si consuma e come si abitano i luoghi, si possono ricostruire le conoscenze e i saperi necessari a trasformare il modello di sviluppo verso forme di auto-sostenibilità, intesa come la capacità di un sistema territoriale di produrre benessere in forme durevoli, consentendo la riproduzione e la valorizzazione delle proprie parti e attivando sinergie locali (Magnaghi, 2012, 2020). Legandosi tra loro in maniera indissolubile, i concetti di partecipazione e di autosostenibilità diventano, con l'eco-centrismo e i commons, ulteriori driver per la disciplina del TD: di conseguenza, i suoi processi devono essere tesi alla progettazione di forme di resilienza locale a partire dalle comunità e dalla cura del territorio.

Il percorso verso la resilienza locale è praticabile, quindi, a condizione che gli attori locali cooperino attivamente e responsabilmente al progetto: diventa fondamentale per un progettista essere in grado di mobilitare le energie sociali del sistema e di favorire queste forme necessarie di collaborazione. Si tratta di un percorso di transizione che determina un cambiamento radicale nella ricombinazione di asset esistenti (dal capitale sociale al patrimonio storico, dall'artigianato locale alla tecnologia digitale) che si pone lo scopo di

raggiungere obiettivi sociali in maniera situata, ma interconnessa (Manzini, 2015). Significa avviare processi di innovazione sociale che si basino sui valori locali e territoriali: il TD non può quindi prescindere dal considerare la coscienza di luogo come altro driver di progettazione.

Alcuni casi studio: un primo step per la definizione delle linee guida per il Transition Product Design

In questo contesto si propongono undici casi studio, selezionati a loro volta tra trentadue progetti, utili per la comprensione dei concetti espressi finora (Fig. 5; Tab. 1) e per introdurre dei potenziali driver e concetti funzionali alla definizione di linee guida per un progetto di design del prodotto per le transizioni. La selezione dei progetti, intorno ai quali si è innestata un'analisi qualitativa, è stata effettuata sulla letteratura esistente e sulle piattaforme Scopus e Researchgate, con un periodo di riferimento a partire dal 2015, attraverso specifiche parole chiave quali 'social innovation', 'transition design', 'design for sustainability', 'local resilience', 'design for resilience', 'design for the common good', 'wicked problems', 'future thinking', 'sustainable futures', 'societal transitions', 'socio technical systems transitions', 'design with complexity'.

I casi studio sono stati, quindi, posizionati in Figura 5 in base a sei polarità, derivate da questa ricerca: la capacità di generare connessioni locali tra persone, professionisti e comunità, che abbiano un punto di partenza e di attivazione nella dimensione fisica o in quella digitale; l'impatto e la ricaduta del progetto a livello di partecipazione sociale e di cooperazione; la capacità del progetto di attivare processi di riscoperta territoriale e di cura dell'ambiente. Gli undici progetti selezionati sono tutti accomunati da una dimensione locale e dal posizionarsi in maniera abbastanza omogenea all'interno dei driver di ricerca; in particolare, la maggior parte si ritrova nelle parti superiori del grafico di Figura 5, cioè in quelle dove il progetto è stato attivatore di relazioni fisiche tra gli attori coinvolti e la comunità locale.

La peculiarità di casi studio come The Algae Platform (2020) dell'Atelier Luma, Totomoxtle (2014)

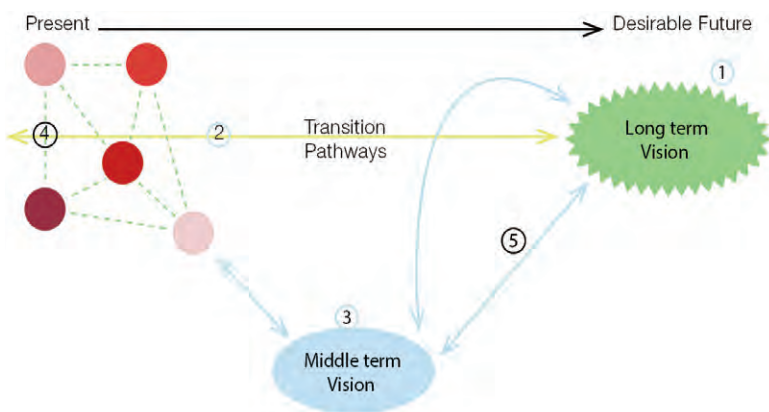
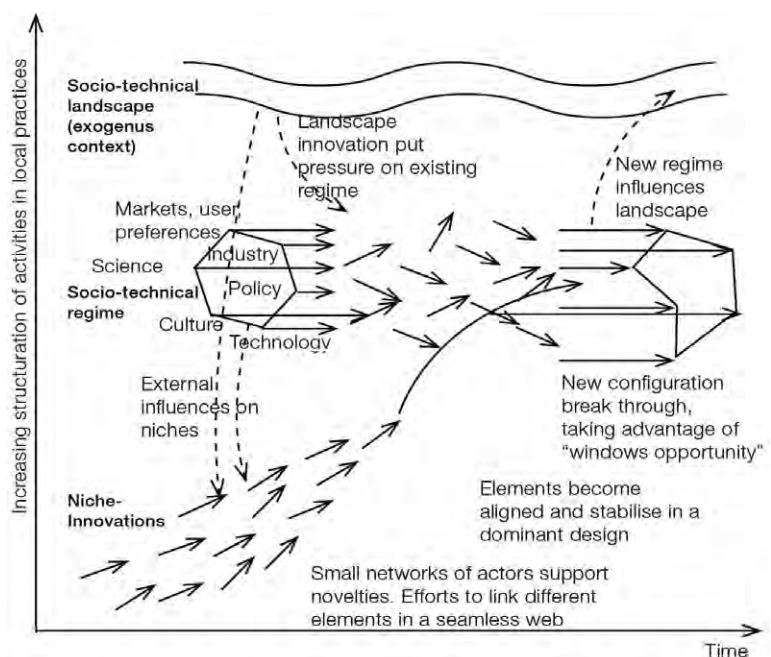


Fig. 1 | The Transition Design Pathways (source: Irwin, Kossoff and Tonkinwise, 2015).

Fig. 2 | Multi-Level Perspective Framework (source: Geels and Schot, 2007).



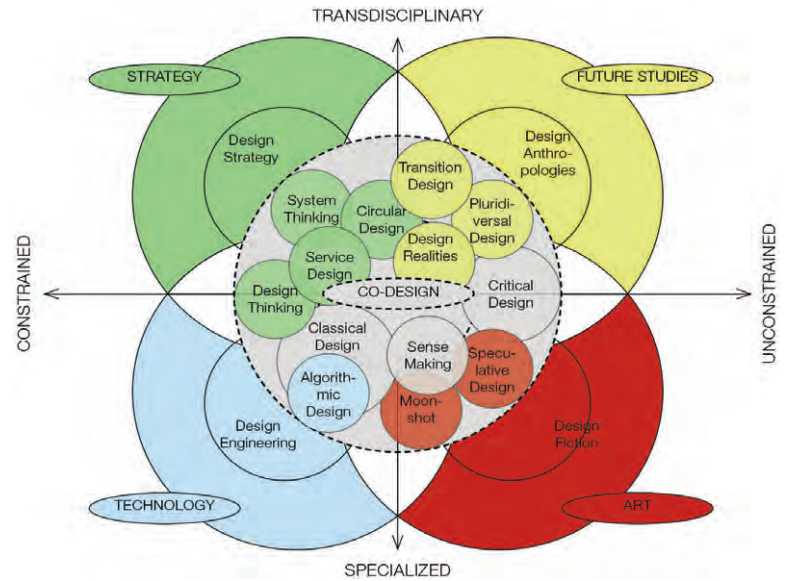
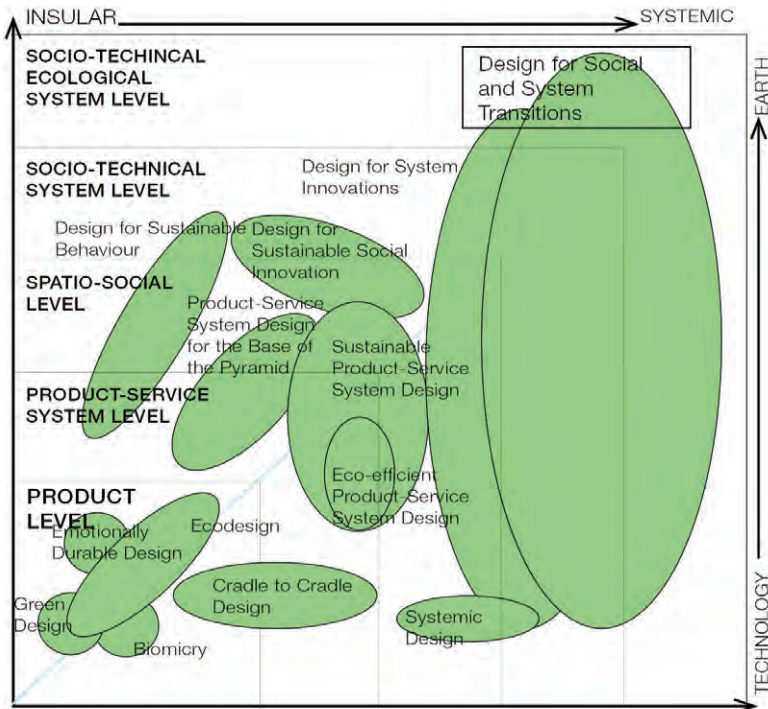


Fig. 3 | Transition Design positioning (source: Ceschin and Gaziulusoy, 2019).

Fig. 4 | Mapping Design approaches (credit: M. Iwabuchi, 2020).

del designer Fernando LaPosse e Fibersheed (2013) dell'omonimo gruppo guidato da Rebecca Burgess (Figg. 6-8) sta nel proporre progetti capaci di dare rilevanza a materie prime locali (ponendo quindi l'attenzione sul tema della salvaguardia della biodiversità) e riuscire a ricreare un senso di comunità a partire da queste ultime; il caso di The Algae Platform risulta di particolare interesse per la replicabilità del progetto in regioni con caratteristiche simili (come la Sardegna, l'Egitto o la Turchia) e per l'impronta transdisciplinare della ricerca che riunisce una comunità di esperti scientifici, culturali legali e industriali. I casi studio proposti presentano delle criticità più o meno importanti: il primo progetto, ad esempio, sta avendo uno sviluppo molto lento anche a causa di un numero limitato di attori coinvolti; Totomoxtle è un progetto che ha processi di lavorazione troppo legati alla materia prima locale e perciò difficilmente replicabili; Fibersheed, pur avendo una community estesa, sviluppa progetti legati solo al mondo del tessile senza espandere il concetto di transizione ad altri settori.

Invece casi studio come Local Bioplastic (2020; Fig. 9), Feeding Milano, OLPC XO (2010; Fig. 10) e Youth in Motion (2010) evidenziano l'importanza di collaborazioni con l'Amministrazione locale per progettare strategie che riescano ad avere un impatto più diretto sulla comunità di riferimento; in particolare, Youth in Motion è un progetto quinquennale di transizione socio-culturale nel quale il Comune di Eindhoven, in collaborazione con la TNO Prevention and Health e la Facoltà di Industrial Design dell'Università di Delft, ricerca soluzioni strategiche per risolvere il problema dell'obesità giovanile. Tutti e tre i casi studio sono accomunati da una stessa criticità rappresentata da una collaborazione ampia di attori e, di conseguenza, da uno sviluppo dei progetti particolarmente lento e poco responsivo nell'immediato; in particolare per Youth in Motion i cambi di Amministrazione Pubblica hanno causato ulteriori ritardi e modifiche in corsa del progetto.

Vaia Cube (2019; Fig. 11), La Ruche Qui Dit Oui (2015), Orange Fiber (2015) e Future of Fish (2012) dimostrano, invece, come gruppi autonomi di una comunità, spesso riuniti in una start-up, riescano a sviluppare modelli di sostenibilità e resilienza sociale, economica ed ecologica a partire dalla cura del territorio e dalla creazione di nuove connessioni tra attori sociali pre-esistenti. La creazione di un sistema economico sostenibile nel breve periodo è la principale criticità comune a questi progetti; tale limite caratterizza lo sviluppo di molti dei progetti che, realizzati da organizzazioni autonome senza la collaborazione delle Amministrazioni pubbliche, necessitano di risorse finanziarie private per autosostenersi.

Dall'analisi dei casi studio si comprendono le effettive potenzialità di progetti mirati alle transizioni, che, basandosi su un approccio multiscale, sono in grado di gestire i diversi livelli di complessità sistemica che le problematiche affrontate implicano. È inoltre evidente come una contestualizzazione locale, sia da un punto di vista ecosistemico e ambientale che sociale, possa essere un catalizzatore importante per processi che abbiano un impatto su scale diverse rispetto a quella di riferimento della strategia iniziale. Sono progetti in grado di favorire processi di contaminazione e ibridazione di saperi e conoscenze che si trasformano in piattaforme per ulteriori progetti di transizione, interconnessi e interrelazionati. Proprio per la natura multi-scalare, oltre che per la creazione di reti di progetti con impatti diversi e su scale temporali differenti, il TD è una disciplina dalle grandi potenzialità per la progettazione di resilienza a livello locale per la risoluzione di problemi complessi.

Transition Product Design come framework di progettazione | Alla luce delle riflessioni e dei casi studio riportati in precedenza è quindi possibile elaborare un primo framework di progetto di prodotto riferito ai temi del territorio e del bene comune e definibile Transition Product Design (TPD). Progettare per le transizioni è un processo

a medio-lungo termine che prevede lo sviluppo di diversi progetti interconnessi per creare un impatto radicale nel sistema socio-tecnico a partire dalle nicchie di innovazione. In questo senso il TPD ha le potenzialità per attivare diverse azioni progettuali in un orizzonte temporale relativamente breve ciascuna delle quali può fungere da catalizzatrice per lo sviluppo e l'affermazione di strategie di transizione; secondo Idil Gaziulusoy (2019), i nuovi prodotti sono inquadrati come potenziali abilitatori delle transizioni e si presume che quest'ultime possano portare allo sviluppo di nuovi prodotti che riflettono le caratteristiche di un sistema socio-tecnico, nuovo o emergente.

In particolare, il TPD ha le potenzialità di: a) attivare soluzioni dal basso in un breve periodo di tempo; b) creare un sistema locale di connessione tra la comunità intorno al prodotto; c) riorientare le pratiche di progettazione attraverso le conoscenze locali; d) attivare e amplificare i processi di transizione. Progetti di questo tipo si legano perfettamente alle caratteristiche di un micro-sistema locale e hanno le potenzialità di attivare più tipologie di relazioni in uno specifico territorio; in quest'ottica il progetto deve considerare che un sistema è composto da una serie di entità interdipendenti ciascuna delle quali crea la base per la resilienza del sistema stesso. Come evidenziato da Emilija Veselova e Idil Gaziulusoy (2021; Figg. 12, 13), un prodotto pensato in una logica di transizione è potenzialmente il centro relazionale delle diverse entità (entità sociali, quelle tecnologiche, ambientali ed economiche) del microsistema e può stimolare la crescita di nuove relazioni nel microsistema che contribuiscono alla sua resilienza.

Dall'analisi della letteratura di riferimento e dalla ricerca dei casi studio è stato possibile formulare un framework per un approccio progettuale riassumibile in otto punti che possono considerarsi obiettivi di una progettazione di prodotti finalizzata a conseguire le transizioni: a) aumentare la partecipazione – sviluppare strategie di abilitazione e socializzazione per rafforzare il tessuto sociale; favorire la connessione tra i soggetti locali in una o

N°	Case Study	Designer	Year	Nation	Type of Intervention	Strenghts	Weaknesses
1	Local bioplastic	Atelier Luma	2020	France	Strategic Design	Direct impact on the community Collaboration with Local government	Low responsive impact in the short term
2	Feeding Milano	Desis Lab	2015	Italy	Service Design	Direct impact on the community Collaboration with Local government	Low responsive impact in the short term
3	Vaia Cube	VAIA	2019	Italy	Systemic Product Design	Focus on sustainability and local resilience New connections between local actors	Economic sustainability in the short term
4	Youth in Motion	Tu Delf	2010	Netherlands	Strategic Design	Direct impact on the community Collaboration with Local government	Low responsive impact in the short term Collaboration with Local government
5	La Ruche Qui Dit Oui	La Ruche Qui Dit Oui	2015	France	Service Design	Focus on sustainability and local resilience New connections between local actors	Economic sustainability in the short term
6	OLPC XO	Fuseproject	2010	USA	Product Design	Direct impact on the community Collaboration with Local government	Lacks in strategic long term vision
7	Orange Fiber	Orange Fiber	2015	Italy	Systemic Product Design	Focus on sustainability and local resilience New connections between local actors	Economic sustainability in the short term
8	Totomoxtle	Fernando Laposse	2014	Mexico	Systemic Product Design	Focus on local raw materials Preservation of biodiversity Recreating sense of community	Hardly replicable
9	The Algae Platform	Atelier Luma	2020	France	Systemic Product and Strategic Design	Focus on local raw materials Preservation of biodiversity Recreating sense of community Repeatability	Slow development
10	Fibersheed	Fibersheed	2013	USA	Systemic Product Design	Focus on local raw materials Preservation of biodiversity Recreating sense of community	Focus only on textiles projects
11	Future of Fish	Cheryl Dahle	2012	USA	Strategic Design	Focus on sustainability and local resilience New connections between local actors	Economic sustainability in the short term

Tab. 1 | Qualitative analysis of case studies (credit: A. Ianniello and L. Botta, 2022).

di conoscenze tra comunità e influenzare i sistemi socio-tecnici dominanti.

This paper is part of an academic discussion regarding the issues of innovation and social transition through Design actions aimed at building overall sustainability. To this end, the paper is structured with an introductory section about the discipline of Transition Design (TD), which is theoretically investigated in order to provide the necessary elements to understand a design process for sustainable transitions and to evaluate the potential of the discipline in re-orienting socio-technical behaviours. It highlights its peculiarities compared to more long-lived and structured disciplines, such as Design for Social Innovation and Design for Sustainability.

The second part investigates TD's role in declining innovation drivers, such as the common good, territorial value and resilience. In order to foster the transition of the above-mentioned processes, it proposes a qualitative case studies analysis aimed to understand the state of the art and to define design guidelines that can contribute to the field of interest. It concludes by proposing an initial framework of Systemic Product Design, hybridised and derived from the discipline of TD, and applied to the territory and the common good.

Transition Design and the design process |

Transition Design, or design for transitions, is a discipline theorised in 2015 by the School of Design at Carnegie Mellon in Pittsburgh (USA). In 2019, the first monograph was published in issue 73 of the journal *Cuaderno* under the title *Design in Perspective – Transition Design*, which provides

a broad theoretical basis and an overview of the first didactic courses and case studies related to this discipline. In 2022, a second monograph was published in issue 157 of the same journal entitled *Transition Design*, which enriches the theoretical apparatus and, in particular, expands the range of case studies from this design discipline.

TD aims to design systemic and medium-term strategies (thirty to fifty years) to address what can be described as complex and interconnected issues found on multiple levels of a system. In light of the close link between societies and complex issues, a TD process highlights the need to design for the transition of social behaviour towards sustainable futures (Irwin, 2019) and to understand the dynamics of complexity in order to bring about radical changes at the systemic level. In this sense, Ezio Manzini (2015) speaks of the transition to sustainability as a social



Fig. 6 | The Algae Platform (credit: Atelier Luma).

Fig. 7 | Totomoxtle (credit: F. Laposse).

Fig. 8 | Fibersheed (credit: Fibersheed).

learning process in which human beings will gradually discover (through trial and error) how to live well by consuming (much) less and regenerating the quality of the environment, the global ecosystem and the local context in which they live. In other words, the transition process must result from a transformation perceived by those who experience it as an improvement in living conditions, both individual and collective.

Reorienting behaviour through Design actions means facing the complexity of the present and consequently broadening the objectives of the discipline itself. According to Franco Achilli (2019), Design must be able to recompose knowledge and desires, to empower evolving intellectual figures and roles endowed with complex know-hows, and to characterise itself with the 'intention' that allows designers and users to face the significant threats of the present. What Achilli proposes is to deal with wicked problems, which can be defined as a class of complex, systemic and seemingly unsolvable issues composed of elements that do not appear to be interrelated, but are, in fact, interdependent, and stand-alone on multiple levels of scale (Coyne, 2005; Irwin, 2019).

According to Irwin, Kossoff and Tonkinwise (2015), the root causes of these threats often in-

volve the social dynamics that permeate them; therefore, a new approach to their resolution should also assess the concerns, conflictual relationships and cultural norms of stakeholders as part of its complexity. A Transition Design process is based on three distinct moments (Irwin, 2019): a) Reformulating the present and future – in this step, stakeholders reformulate and remap the problem in the present and future, co-creating shared and desirable visions and developing 'transition pathways' and strategies to realise them; the primary purpose of this process is to build Transition Design Pathways (Fig. 1), i.e. a design pathway that aims to solve the complex problem, starting with the interception of the consequences caused by it;

b) Designing interventions – this phase places both the complex problem and the vision in a broad, multilevel spatial and temporal context, breaking it down according to these two vectors in order to investigate all aspects in depth. The reference context of complex systems is one of the peculiarities of the TD process and makes it possible, on the one hand, to understand problems current ramifications and consequences (looking at the upper and lower levels of the systems) and how they have evolved, and, on the other hand, to identify their root causes (in the past) and intentionally accompany the system in its transition towards preferable futures over several time horizons; the reference model for this phase is the Multilevel Perspective (Fig. 2) proposed by Frank W. Geels and Johan Schot (2007) and used to study the transformations of large socio-technical systems (the interactions between people and the complex infrastructure of society) over long periods;

c) Waiting and Observing – to activate and catalyse change in these macro-systems, different interventions are required at multiple scale levels and over multiple time horizons; given the uncertainty and ambiguity of the perturbations that can be triggered in the system, it is complex to predict their developments and potential consequences within it; this entails intervals between periods of activity and phases of observation and reflection to understand how the system has responded to them.

In the latter phase, differences between TD and traditional design approaches can be identified: design processes for social innovation and environmental sustainability do involve a cyclicity (and non-linearity) that repeats itself with a high frequency; TD, on the other hand, presents a slower cyclic approach than the aforementioned models, due to the systemic scale of the complexity addressed and to the ambiguity of the reference context; in a TD process, the latter phase is the least developed as it is difficult to measure, in the short term, the impact of one or more transition projects within a complex socio-technical system.

In this discussion, the short-term outcome becomes the activator and facilitator for the application of transition strategies, but also a tool capable of implementing the waiting and observation phase, succeeding in making the entire TD process more dynamic and responsive to change. If TD is positioned, in part, in the overlapping area between Design for Sustainability, Design for Social Innovation and Design for Systemic Innovation (Fig. 3) and from them it takes some fundamental principles, such as environmental protection, social sustainability and systemic economical

and marketing innovation, what characterises TD is to contribute to radical changes starting from the consideration that the environment is a stakeholder on a par with humanity, and not just an element to be preserved and safeguarded. This type of design involves the mutual interconnection between solutions that impact several time and socio-technical scales (involving future generations) of the reference system (developing transition strategies).

TD thus seeks to facilitate transition processes by supporting, linking and developing interventions to intentionally change values, technologies, social practices and infrastructure, while reshaping the interactions between socio-technical and socio-ecological systems (Ceschin and Gaziulusoy, 2019). The integration of tools and methodologies derived from Futures Studies (FS) is a fundamental and peculiar aspect of TD (Irwin, 2019). FS are more comprehensive than the construction of futuristic scenarios. However, they aim at the definition of strategies, processes and projects to achieve shared desirable and sustainable futures and the necessary pathways to reach them (Fig. 4). Therefore, it requires, as already stated, multi-scalar visions involving both the individuals and the ecosystems (Cowart and Maione, 2022).

Design drivers for transitions | The discipline of TD emphasises the need to identify solutions that bridge an innovative approach, capable of triggering radical transformations in a political, social (Treccani, 2022) and sustainable order, i.e. one capable of meeting the needs of the present without compromising those of future generations. Precisely, with a future-oriented perspective, these two terms must be differently characterised compared to what happens in contemporary society. For example, the term innovation is often linked to growth. Whereas the term sustainability is often used in punctual visions that should instead comprehensively consider the scalar complexity, the temporal aspect and the dimension of nature seen as a real project stakeholder. Emilija Veselova and Idil Gaziulusoy (2021) emphasise the need to design not only for humans, suggesting a life-centred approach instead of a human-centred one. They recognise the value of non-human actors and non-designers as stakeholders who can influence the transition process and its outcomes.

Therefore, some design drivers are identified or rediscovered in this vision, allowing to rethink the discipline's objectives and, therefore, the growing systemic complexity that permeates our reality. First of all, taking up the contributions of various researchers (Leff, 2009; Dash, 2016; Bruni, 2020) and referring to a high complex and uncertain context, it is necessary to consider the human being as part of a community that, in turn, is part of an ecosystem. For Design, this means basing its process on collaboration, cooperation and natural interdependence to assume holistic approaches and visions. In this way, the environment, the territory and the places become the common good ('commons'; Ostrom, 2009) to be 'cared for' because of their substantial local, cultural and temporal value for a community.

Charlotte Hess and Elinor Ostrom (2007) emphasise that commons are shared among multiple users; indeed, the phrase 'common good' points out how each stakeholder in a relatively

large community has the right to share some of its aspects. They are fundamental for three main reasons: a) they are shared and considered vital because they have been fundamental for several generations (temporal aspect); b) society follows the rules for their care (community aspect); c) each individual contributes to their maintenance (holistic aspect). Therefore, the rediscovery of the commons passes through a new territorial and communitarian ethic that must influence design to resolve the worrying cultural disconnection between the anthropic world and the biosphere.

This diverts attention from caring for what is life-supporting for human beings, namely the environment; to heal it, a shared goal is needed, which different groups of people can refer to and support, regardless of their differences (Thackara, 2019). Alberto Magnaghi (2020) calls this 'healing' process a return to 'place consciousness': a reappropriation of the knowledge regarding the territory's hidden values by its inhabitants. In other words, he highlights the need to focus on territorial commons (material and relational) as essential elements for reproducing individual and collective, and biological and cultural life. In this sense, the territorial heritage is intended as a system of synergic relations between peculiar qualities of the physical environment (climate, flora, fauna, geo-hydro-morphological arrangement, environmental systems and neosystems), of the built environment (permanence and long-lasting persistence, urban and territorial building types, techniques and materials, quality of the land mass, landscape features) and of the anthropic environment (socio-cultural models, linguistic peculiarities, milieu features).

By developing an individual and collective consciousness about what is produced and consumed and how places are inhabited, it is possible to reconstruct the knowledge and know-how necessary to transform the current model towards forms of self-sustainability, understood as the capacity of a territorial system to produce well-being in lasting forms, enabling the reproduction and enhancement of its parts and activating local synergies (Magnaghi, 2012, 2020). Inextricably bound together, the concepts of participation and self-sustainability become, together with eco-centrism and the commons, further drivers for the discipline of TD: consequently, its processes must be aimed to design local resilience keeping in mind communities and caring for the territory.

The path towards local resilience is practicable if local actors actively and responsibly cooperate in the project: it becomes crucial for a designer to mobilise the social energies of the system and foster these necessary forms of collaboration. It is a transitional path that brings about a radical change in the recombination of existing assets (from social capital to historical heritage, from local craftsmanship to digital technology) that aims to achieve social goals in a situated but interconnected manner (Manzini, 2015). It means initiating social innovation processes based on local and territorial values: TD should consider place consciousness as another design driver.

Some case studies: a first step in defining guidelines for Transition Product Design | Eleven case studies are proposed here, selected among thirty-two projects; they may help in understanding the concepts expressed so far (Fig. 5; Tab. 1)

and in introducing potentially functional drivers and concepts to define guidelines for a transition product design project. The selection of projects, around which a qualitative analysis was grafted, was carried out on the existing literature produced since 2015, on the Scopus and Researchgate platforms, through specific keywords such as 'social innovation', 'transition design', 'design for sustainability', 'local resilience', 'design for the common good', 'wicked problems', 'future thinking', 'sustainable futures', 'societal transitions', 'socio-technical systems transitions', 'design with complexity'.

The case studies, described in Figure 5, were positioned and clustered according to six polarities derived from this research: the capacity to generate local connections between people, professionals and communities, activated both within the physical and the digital dimension; the project's impact on social participation and cooperation; the project's capacity to activate processes of territorial rediscovery and environmental care. The projects share a local dimension and a reasonably homogeneous positioning according to the research drivers. In particular, most of them are found in the upper parts of the graph shown in Figure 5, i.e. where the project was useful to activate the physical relations between the actors involved and the local community.

The peculiarity of case studies such as The Algae Platform (2020) by Atelier Luma, Totomoxtle (2014) by designer Fernando LaPosse and Fibersheed (2013) by the group by Rebecca Burgess (Fig. 6-8) is to be capable of giving relevance to local raw materials (thus focusing on the issue of biodiversity preservation) and succeeding in recreating a sense of community through them. Algae Platform is notable for its replicability in regions with similar characteristics (such as Sardinia, Egypt or Turkey) and for the transdisciplinary research, which brings together a community of scientific, cultural, legal and industrial experts. The proposed case studies present some essential criticalities. For example, the first is experiencing a prolonged development due to the limited number of actors involved; Totomoxtle is a project based on processing processes that are too dependant on the local raw material and, therefore, difficult to replicate. Fibersheed develops only textile-based projects not expanding the concept of transition to other sectors, despite it could rely on an extended community.

Instead, case studies such as Local Bioplastic (2020; Fig. 9), Feeding Milano, OLPC XO (2010; Fig. 10) and Youth in Motion (2010) highlight the importance of collaborations with the local administration to design strategies that more directly impact the target community. In particular, Youth in Motion is a five-year socio-cultural transition project in which the municipality of Eindhoven, in collaboration with TNO Prevention and Health and the Faculty of Industrial Design of the University of Delft, is looking for strategic solutions to solve the problem of youth obesity. All three case studies share the same criticality of a broad collaboration of actors and, consequently, a prolonged and unresponsive project development; i.e. Youth in Motion experienced changes in public administration which caused further project delays and modifications.

In contrast, Vaia Cube (2019; Fig. 11), La Ruche

Qui Dit Oui (2015), Orange Fiber (2015) and Future of Fish (2012) demonstrate how autonomous community groups, often united in a start-up, manage to develop models of sustainability and social, economic and ecological resilience starting with the care of the territory and the creation of new connections between pre-existing social actors. The creation of a sustainable economic system in the short term is the main and common critical issue for these projects; this limitation characterises many projects which, being implemented by autonomous organisations without the collaboration of public administrations, require private financial resources to sustain themselves.

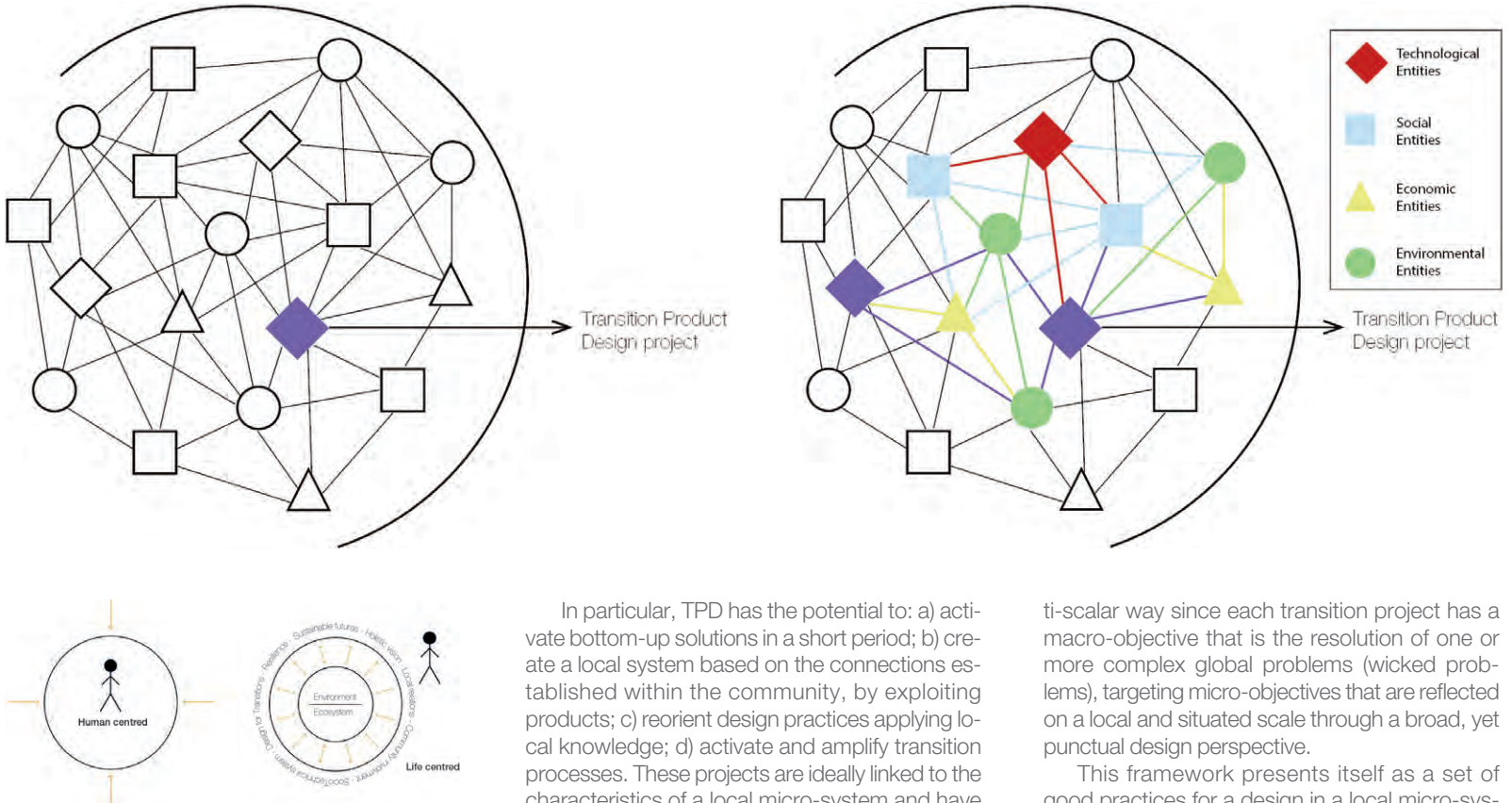
The analysis of the case studies reveals the real potential of projects aimed at transitions, which, driven by a multi-scalar approach, can manage the different levels of systemic complexity implied



Fig. 9 | Local Bioplastic (credit: Atelier Luma).

Fig. 10 | OLPC XO (credit: Fuseproject).

Fig. 11 | Vaia Cube (credit: Vaia).



Figgs. 12, 13 | Product and Local System Relations (source: Veselova and Gaziulusoy, 2018).

Fig. 14 | Life-centred Design approach (credit: A. Ianniello and L. Botta, 2022).

by the issues addressed. It is also evident how a local contextualisation, both from an ecosystemic and environmental and social point of view, can be an essential catalyst for processes that can have an impact on different scales than the strategic and initial one. They are capable of fostering processes of contamination and hybridisation of knowledge and know-how that become platforms for further interconnected and interrelated transition projects. Because of its multi-scalar nature and the networking of projects with different impacts and on different time scales, TD is a discipline with great potential for designing resilience at the local level to solve complex problems.

Transition Product Design as a design framework | In light of the above reflections and case studies analysis, it is possible to elaborate an initial product design approach that deals with the themes of territory and the common good and is definable as Transition Product Design (TPD). Designing for transitions is a medium- to long-term process involving the development of several interrelated projects to radically impact the socio-technical system, starting from innovation niches. In this sense, the TPD has the potential to trigger several project actions in a relatively short horizon, which can act as catalysts to design and establish transition strategies. According to Idil Gaziulusoy (2019), new products are framed as potential enablers of these transitions. It is assumed that transitions can lead to the development of new products that reflect the characteristics of a new or emerging socio-technical system.

In particular, TPD has the potential to: a) activate bottom-up solutions in a short period; b) create a local system based on the connections established within the community, by exploiting products; c) reorient design practices applying local knowledge; d) activate and amplify transition processes. These projects are ideally linked to the characteristics of a local micro-system and have the potential to activate multiple types of relationships in a specific territory; from this perspective, the project must consider that a system is an ensemble of interdependent entities, that create the basis for the system resilience. Emilija Veselova and Idil Gaziulusoy (2021; Figgs. 12, 13) pointed out that a product designed with a transitional logic could be the relational centre of the different entities (social, technological, environmental and economic entities) of the micro-system. It can stimulate the growth of new relationships within the micro-system that contribute to its resilience.

Through the literature review and the case studies analysis, it was possible to formulate a framework for a design approach. This can be summarised in eight points that can be considered the objectives of a product design process to enable transitions: a) increasing participation – developing and enabling social strategies to strengthen the communities; fostering connection between local actors in one or more interdependent networks; b) designing for the future of the local system – developing projects that consider the short to medium and long-term time scale; c) generating awareness – stimulating more virtuous and environmentally aware social behaviours; d) designing for local resilience – developing new modes of organisation, knowledge and social interaction, based on flexible relations; e) taking care of the commons through design projects that are attentive to the regeneration of the territory and aimed at changing the relational dynamics between humans and the environment; f) amplifying the uniqueness and the local identity through a system often characterised by peculiar and specific local resources; g) fostering external connectivity by enhancing local know-how and connecting it into a more comprehensive network of knowledge, but also fostering the direct exchange of knowledge between territories, planners, professionals and communities; h) approaching complexity in a mul-

ti-scalar way since each transition project has a macro-objective that is the resolution of one or more complex global problems (wicked problems), targeting micro-objectives that are reflected on a local and situated scale through a broad, yet punctual design perspective.

This framework presents itself as a set of good practices for a design in a local micro-system; this is why it is essential to consider the potential barriers to its dissemination and find answers to some uncertainties, which could be helpful to better detail what is presented. One of the main barriers is related to the acceptance of projects by the local community: a designer for transitions must understand how to fit into a context already characterised by the presence of different actors and established relationships, and how to design a strategy for pseudo-radical changes. Its recognition and acceptance are among the discriminating factors for the establishment of good practices.

Moreover, since TD and TPD processes are particularly based on the rediscovery of local knowledge and resources, some time to get to know an area's potential and resources is necessary upstream in the design phase, including dialogue with the various actors in the local system (artisans, environmentalists, biologists, etc.). Time is, therefore, one of the potential critical issues, as is the lack of dialogue/conversation with local actors, which could lead to the proposal of limited solutions with little impact on the local system's transition. Then, concerning achieving local resilience in the long term, one must deal with possible cultural resistance to change and 'open' relations and how to economically exploit local resources in the long term. Finally, with a broader vision upon the sustainability theme, the designed solutions need to respond to local problems as a first step towards solving complex global problems. These two objectives are only sometimes reconcilable because of the possible urgency or complexity of the local intervention context.

The application of TD principles to Systemic Product Design, and the consequent definition of TPD, can benefit the former, which would find in transition products not only activators for transition strategies but also tools to maintain the dynamism of the design process. Especially in its fi-

nal phase of waiting and observation, approaches and methods need to be improved. In other words, TPD projects can intervene precisely in the third phase of a TD process because of the short-term potential of different forms of product design. This last point, and more generally, the proposed framework, are issues that need to be explored in more detail with specific research.

Conclusions | The role of Design in a context of innovation and socio-systemic transition towards more sustainable futures is to empower the resilience of a local micro-system. The discipline of Transition Design proposes a process with a medium-term vision that aims to develop solutions for the resolution of complex global issues (loss of biodiversity, climate change, etc.) through a systemic approach that is both conscious (of the multilevel interconnections of these problems) and strategic (that considers interventions in the short, medium and long term). In the light of the systemic transformations taking place, specific characteristics, therefore, become fundamental for the discipline of Design, and among these is the integration of a holistic vision that takes into consideration the prerogatives of the different social groups involved in design projects with care for the environment and, consequently, a progressive abandonment of the paradigm that sees the human being exclusively at the centre of design practices.

At the basis of this transformative process, some principles of considerable relevance can be highlighted (Norman, 2023), such as the need to

address, at the roots, complex and interconnected issues by taking into consideration ecosystems, understood as the totality of all living beings, human and non-human; the ability to project into the future a systemic vision, which is fundamental for understanding the interdependence between the various parts and the criticalities, even in the long term, that it can generate; the relevance of projects as tools capable of responding to the needs of the reference systems; the willingness to co-design with the actors and communities involved and the consequent assumption of a facilitating role for the discipline of Design.

The new approach, which can be defined as 'life-centred' (Fig. 14), necessarily requires designers to be able to 'participate' in the entire process, integrating the principles as mentioned above; in this sense, TD provides an approach and method that focuses on the management of macrosystem variables. By integrating the principles of TD with those of Product Design, TPD attributes to the product the role of activator of relationships in a local micro-system, resolving the criticalities demonstrated by the last phase of TD, and intervening more responsively and punctually in the correction or re-orientation of transition strategies.

The TPD framework implements TD with design approaches in the short and medium term; the framework, subdivided into different steps, is helpful for the development of new products that are: a) representative and sustainable for the local socio-technical system; b) stimulus for the development of transition strategies; c) re-activators of

transition processes in the short term. The presented framework is an initial theoretical proposal that requires specific research actions, among which short-, medium- and long-term experimentation phases on territories and communities that meet potentially adequate requirements and knowledge for a TPD process. In the short term, the necessary 'awareness' of the community will have to be stimulated by establishing a relationship with the local administration to create trust in the project and enhance the participation of and relations between local actors. In the medium term, once the project has started, relations will have to be nurtured and expanded by activating further local projects, building shared knowledge both within and outside the community, and laying the foundations for local resilience (economic, social, environmental, etc.). In the long term, on the other hand, it will be crucial to activate transferrable and scalable processes outside the local system to share knowledge between communities and make an impact on the dominant socio-technical systems.

References

- Achilli, F. (2019), "Senza confini – Le nuove frontiere del design", in Rovatti, A. (ed.), *Confini del Design*, ADI – Delegazione Lombardia, Milano, pp. 77-79. [Online] Available at: re.public.polimi.it/retrieve/handle/11311/1129615/490339/ConfiniDesign_Rovatti.pdf [Accessed 15 September 2022].
- Bruni, L. (2020), "The Theory of Homo reciprocans", in Becchetti, L., Bruni, L. and Zamagni, S. (eds), *The Microeconomics of Wellbeing and Sustainability*, pp. 271-293. [Online] Available at: doi.org/10.1016/B978-0-12-816027-5.00009-4 [Accessed 15 September 2022].
- 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 15 September 2022].
- Cowart, A. and Maione, D. (2022), "Transitioning Toward the Slow and Long – Developing Experiential Futures Approach Toward System Change in Fashion", in *Cuaderno | Cuadernos del Centro de Estudios en Diseño y Comunicación (Ensayos)*, vol. 157, pp. 29-63. [Online] Available at: doi.org/10.18682/cdc.vi157.6844 [Accessed 15 September 2022].
- Coyne, R. (2005), "Wicked problems revisited", in *Design studies*, vol. 26, issue 1, pp. 5-17. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.destud.2004.06.005 [Accessed 15 September 2022].
- Dash, A. (2016), "An epistemological reflection on social and solidarity economy", in *Forum for Social Economics*, vol. 45, issue 1, pp. 61-87. [Online] Available at: doi.org/10.1080/07360932.2014.995194 [Accessed 15 September 2022].
- Gaziulusoy, A. I. (2019), "Postcards from the Edge toward futures of design for sustainability transitions", in *Cuaderno | Cuadernos del Centro de Estudios en Diseño y Comunicación (Ensayos)*, vol. 73, pp. 67-84. [Online] Available at: doi.org/10.18682/cdc.vi73.1038 [Accessed 15 September 2022].
- Geels, F. W. and Schot, J. (2007), "Typology of sociotechnical transition pathways", in *Research Policy*, vol. 36, issue 3, pp. 399-417. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.respol.2007.01.003 [Accessed 15 September 2022].
- Hess, C. and Ostrom, E. (2007), *Understanding Knowledge as a Commons, from theory to practice*, The MIT Press, Cambridge. [Online] Available at: [jstor.org/stable/j.ctt5hhd6f](https://www.jstor.org/stable/j.ctt5hhd6f) [Accessed 15 September 2022].
- 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 15 September 2022].
- Irwin, T., Kossoff, G. and Tonkinwise, C. (2015), "Transition Design provocation", in *Design Philosophy Papers*, vol. 13, issue 1, pp. 3-11. [Online] Available at: doi.org/10.1080/14487136.2015.1085688 [Accessed 15 September 2022].
- Leff, E. (2009), "Degrowth, or deconstruction of the economy – Towards a sustainable world", in *Critical Currents | Dag Hammarskjöld Foundation – Occasional Paper Series*, vol. 6, pp. 101-107. [Online] Available at: [daghammarskjold.se/wp-content/uploads/2009/10/cc6_web.pdf](https://www.daghammarskjold.se/wp-content/uploads/2009/10/cc6_web.pdf) [Accessed 15 September 2022].
- Magnaghi, A. (2020), *Il principio territoriale*, Bollati Boringhieri, Torino.
- Magnaghi, A. (ed.) (2012), *Il territorio bene comune*, Firenze University Press, Firenze.
- Manzini, E. (2015), "Social Innovation and design-enabling, replicating and synergizing", in Stebbing, P. and Tischer, U. (eds), *Changing Paradigms – Designing for a Sustainable Future*, Aalto University School of Arts, Design and Architecture, pp. 328-337. [Online] Available at: aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/34423 [Accessed 15 September 2022].
- Norman, D. (2023), *Design for a better world*, MIT Press, Cambridge (MA).
- Ostrom, E. (2009), "A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems", in *Science*, vol. 325, issue 5939, pp. 419-422. [Online] Available at: [science.org/doi/full/10.1126/science.1172133](https://doi.org/10.1126/science.1172133) [Accessed 15 September 2022].
- Thackara, J. (2019), "Bioregioning – Pathways to Urban-Rural Reconnection", in *She Ji Journal of Design Economics and Innovation*, vol. 5, pp. 15-28. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.sheji.2019.01.002 [Accessed 15 September 2022].
- Treccani (2022), *Innovazione*. [Online] Available at: [treccani.it/vocabolario/innovazione/](https://www.treccani.it/vocabolario/innovazione/) [Accessed 15 September 2022].
- Veselova, E. and Gaziulusoy, I. (2021), "Bioinclusive Collaborative and Participatory Design – A Conceptual Framework and a Research Agenda", in *Design and Culture | The Journal of the Design Studies Forum*, vol. 14, issue 2, pp. 149-183. [Online] Available at: doi.org/10.1080/17547075.2021.2019455 [Accessed 15 September 2022].

DESIGN E TRANSIZIONE DIGITALENuove sfide design-driven per
l'innovazione tecno-sociale**DESIGN AND DIGITAL TRANSITION**New design-driven challenges for
techno-social innovationSalvatore Di Dio, Benedetto Inzerillo, Francesco Monterosso,
Dario Russo

ABSTRACT

Com'è possibile operare salvificamente su una società asfittica, trascinata dal turbocapitalismo, dalla 'tirannia morbida' degli algoritmi, dalla 'datacrazia' e contrassegnata da sistemi socio-tecnici egemoni e centralizzati? Partendo da riflessioni teoriche e contributi multidisciplinari, il contributo si concentra sull'importanza strategica dell'innovazione tecno-sociale, illustrando criticamente alcune significative esperienze design driven che tratteggiano innovative linee di sviluppo nell'ambito della ricerca di design: l'attività sperimentale di WASP (stampa 3D), le riflessioni di Manzini sulle comunità locali ibride e le città in magmatica mutazione, i progetti degli hacktivisti Persico e Iaconesi sull'intelligenza artificiale open source, le esperienze di innovazione tecnologica frugale ad alto impatto sociale nei contesti economici, ambientali e sociali più sfidanti del Pianeta e, per finire, le audaci proiezioni sul cibo del futuro con le correlate problematiche sperimentazioni su sistemi di produzione e stili di vita.

How can it be possible to work salvifically on an asphyxiated society that is being dragged down by turbo-capitalism, the 'soft tyranny' of algorithms and 'data-crazy' and marked by hegemonic and centralised socio-technical systems? Starting from theoretical reflections and multidisciplinary contributions, this paper focuses on the strategic importance of techno-social innovation, critically illustrating some significant design-driven experiences that outline innovative lines of development in the field of design research: WASP's experimental activity (3D printing), Manzini's reflections on hybrid local communities and cities in chaotic mutation, the projects of hacktivists Persico and Iaconesi on open source artificial intelligence, the experiences of frugal technological innovation with high social impact in the Planet's most challenging economic, environmental and social contexts, and, finally, the bold projections on the food of the future with the related problematic experiments on production systems and lifestyles.

KEYWORDS

innovazione tecno-sociale, design sistemico, design speculativo, SDGs, connessioni

techno-social innovation, systemic design, speculative design, SDGs, connections

Salvatore Di Dio, Engineer, Architect and PhD, is an Associate Professor of Industrial Design in the Department of Architecture at the University of Palermo (Italy). Mob. +39 347/13.73.406 | E-mail: salvatore.didio@unipa.it

Benedetto Inzerillo, Architect, Yacht Designer and PhD, is a Researcher in Industrial Design in the Department of Architecture at the University of Palermo (Italy). Mob. +39 340/197.61.88 | E-mail: benedetto.inzerillo@unipa.it

Francesco Monterosso, Architect, Visual Designer and PhD, is a Researcher in Industrial Design in the Department of Architecture at the University of Palermo (Italy). Mob. +39 339/279.67.22 | E-mail: francesco.monterosso@unipa.it

Dario Russo, Architect and PhD, is an Associate Professor of Industrial Design in the Department of Architecture at the University of Palermo (Italy). Mob. +39 392/35.11.793 | E-mail: dario.russo18@unipa.it



Sempre si dice: il design genera innovazione; e siccome l'innovazione è motore del successo, Good Design is Good Business (Watson, 1974). Questa visione, tuttavia, ha un che di semplicistico, non soltanto perché tende a ridurre il design a prassi estetizzante ovvero, ancora una volta, a business, quanto perché non corrisponde all'idea di design quale strumento democratico per migliorare il mondo o, meno enfaticamente, la vita quotidiana. In altre parole, se riteniamo che l'innovazione corrisponda a un intervento migliorativo, questa, quale che sia il modo in cui si realizza, dovrebbe essere prima di tutto innovazione sociale. Tanto che anche l'innovazione tecnica nuda e cruda dovrebbe contenere una piccola scintilla di luce etica e risolversi in effetti tali da migliorare la società.

E dunque chiediamoci: quale società intendiamo progettare, quella in cui la tecnica è strumento nelle mani dell'uomo o quella in cui l'uomo è etero-determinato dalla tecnica? Tale cruciale questione, nel dibattito filosofico, arriva a un punto di svolta nel secolo scorso finché, negli anni Cinquanta, Martin Heidegger (1959) arriva ad affermare che la tecnica assume il 'completo dominio' del mondo; gli fa eco Günther Anders (1980), che vede nella tecnica il vero 'soggetto della storia' mentre, più di recente, Umberto Galimberti (1999) ribadisce come l'uomo, oggi, sia costretto a convertire se stesso in una sorta di 'funzionario di apparati tecnici'. Chi volge la riflessione filosofica esplicitamente all'ambito del design è Vilém Flusser (2003) il quale, ragionando sugli artefatti digitali, preconizza una società del futuro apparentemente libera ma tecnicamente predeterminata, fatta appunto di 'programmatori programmati'; peggio: un 'totalitarismo programmato'.

È questo il futuro che ci attende o nel quale ci troviamo oggi che piaccia o meno? Quel che certo è che occorre indirizzare l'espansione della tecnica attraverso una visione etica e non perdere mai di vista la ricaduta sociale di quanto è in grado di cambiare la società. In che modo, però, possiamo innovare socialmente? Per Ezio Manzini (2021), si ha innovazione sociale quando qualcuno, cambiando il modo di fare socialmente consolidato, risolve un problema e apre nuove possibilità. Conseguentemente come si legge nell'*Open Book of the Social Innovation*: «We define social innovations as new ideas (products, service and models) that simultaneously meet social needs and create new social relationship or collaborations» (Murray, Grice and Mulgan, 2010, p. 11).

In quest'ottica il contributo metterà l'accento su come l'innovazione sociale tende a prendere campo in progetti virtuosi e molto diversi tra loro, eppure volti al miglioramento della società, scommettendo sul futuro. Tutti sfidano lo status quo, operando in condizioni limite. Così l'idea di Massimo Moretti (WASP) di realizzare in poche decine di metri quadri uno spazio autosufficiente (energie di flusso) e totalmente ecologico (km zero), permeato dal sapere più tecnologicamente avanzato facendo leva sull'open source. Open source, collaborazione, cura e cultura hacker rappresentano il capitale sociale che genera comunità locali ibride (Manzini), tali da irrorare di servizi diversificati periferie che assumono nuova centralità rispetto ai 'vecchi' sistemi gerarchici centralizzati. Qui si collocano le avventure sperimentali di laconesi e Persico sull'applicazione di intelligenza artificiale, co-

me pure le esperienze di innovazione tecnologica frugale ad alto impatto sociale nei contesti economici, ambientali e sociali più sfidanti del Pianeta.

Dalla pratica alla teoria, e viceversa | Coerentemente con le premesse iniziali, un esempio illuminante – con ricadute progettuali molto concrete – è senz'altro l'attività di WASP, acronimo di World Advanced Saving Project, uno dei centri di sperimentazione sulla stampa 3D più innovativi del mondo. Il nome WASP trae ispirazione dalla vespa vasaia; animale che opera come una stampante 3D: prende la materia lì dov'è (km zero), ad esempio argilla rinforzata con fibre naturali (scarti vegetali), la deposita attraverso il suo ugello, sfruttando il calore del Sole abbastanza caldo per solidificarla; energia, quindi, pulita e rinnovabile. Impatto zero. «Certified to be at the highest energy class [la prima casa (unità abitativa) stampata in terra nel 2018 è Gaia] represents a significant achievement for 3D printing technology because offers new scenarios of building sustainable construction, taking advantages from the additive manufacturing, both in terms of feasibility and replicability» (Moretti et alii, 2021, p. 154; Fig. 1).

Questa nuova architettura fatta di terra e fibre vegetali – la cui estetica è dedotta dalla tecnica (perché la tecnica produce immaginario) – si configura come totalmente sostenibile, con ricadute virtuose sulla società. Essa promuove «[...] human and material resources from the territory, [il che vuol dire km zero ed economia circolare;] recycling natural waste from the agricultural chain [ossia la conversione di uno scarto in risorsa, secondo il postulato del design sistemico (Tamborini, 2009) 1; pertanto] the current aim of the company is to make the 3D printing process as affordable as possible to easily set on-site low-cost construction in countries of Third World, generating social and living opportunities for populations» (Moretti et alii, 2021, p. 155).

Ed ecco l'obiettivo di WASP e del suo fondatore Massimo Moretti: dare a tutti una casa, realizzata con materiali locali ed energia pulita (a basso costo), un orto verticale per la produzione del cibo e spazio creativo, un laboratorio di fabbricazione digitale dove sperimentare liberamente; veicolare il sapere più tecnologicamente evoluto in una società totalmente open-source: una nuova Shamballa, città mitica, abitata da sapienti che utilizzano tecniche evolute, collaborando armonicamente, per perseguire conoscenza e felicità (Russo and Moretti, 2020; Sposito and Scalisi, 2017). 'Architetti, scultori, pittori, noi tutti dobbiamo tornare all'artigianato': lo affermava Walter Gropius nel 1919 (Programma del Bauhaus, cit. in Wingler, 1969). Artigianato, sì, ma elevato oggi all'ennesima potenza, ovvero stampa 3D: artigianato digitale o ancora artigianato 2.0 (Russo, 2015).

Nessuna meraviglia dunque se Moretti propone il Maker Economy Starter Kit: «The container that permits shipping all the machinery needed to establish a construction site with 3D printing technology» (Moretti et alii, 2021, p. 152); più precisamente: l'ambiziosa idea di condividere potenzialmente con tutti il sapere necessario per trasformare poche decine di metri quadri in un 'paradiso in terra', ovvero un'abitazione energeticamente autosufficiente (energia rinnovabile), dove sia possibile produrre cibo e materializzare oggetti

(sostenibili) attraverso la stampa 3D. Ciò significa, quindi, selezionare e mettere a sistema conoscenze e tecniche molto diverse, che vanno dall'edilizia alla fisica tecnica, dall'ingegneria idraulica alla botanica. 'Tutti devono progettare', chiosava Giulio Carlo Argan (cit. in Mari, 1974, p. 34) nel lontano 1974: in fondo è il miglior modo per evitare di essere progettati.

Quali sono però i limiti di questa ambiziosa idea? È realmente possibile – in ogni angolo del Pianeta e per 8 milioni di abitanti – realizzare numerosissime unità abitative disperse in una campagna continua? Come si declina l'idea di Moretti nelle nostre affollatissime megalopoli? E che dire dei tanti paesini che costellano le aree interne del nostro Paese, alcuni bellissimi, ricchi di storia e di cultura, che si sono negli ultimi decenni letteralmente svuotati e che andrebbero anzi rivitalizzati? In altre parole, se con le stampanti WASP è possibile, sì, stampare rapidamente case ecologiche in spazi aperti, cosa si potrebbe fare all'interno dei nostri centri urbani per quanto invivibili comunque in funzione? Ma soprattutto: è davvero attuabile l'idea di mettere il sapere più evoluto nelle mani di ogni uomo? Possiamo realisticamente pensare che tale sofisticato sapere potrà essere trasversalmente diffuso e dunque applicato in una logica armonica che affratella l'umanità? E con quali esiti? Sarà possibile, tanto per fare un esempio, coltivare la carne in casa – la casa di Moretti pensata con le tecnologie di un'astronave – ovvero stamparla grazie alle cellule staminali?

Se pensiamo alle nostre città e megalopoli, con i loro complessi funzionamenti e disfunzioni, una ricetta socialmente innovativa e forse più concretamente applicabile sembra essere quella di Ezio Manzini, il quale vede appunto nell'innovazione sociale il vero obiettivo del design(er). Già da tempo, afferma l'autore, si coagulano tante piccole comunità locali ibride (reali e virtuali) che, sfruttando le tecnologie digitali (e non solo), collaborano per risolvere problemi sociali con soluzioni innovative, secondo la definizione di Robin Murray, Jean Caulier Grice e Geoff Mulgan (2010). Nasce dunque dal basso, generato dalla una sommatoria delle attività locali, quel che Manzini (2015) chiama 'design emergente': il Design – When Everybody Designs.

È quindi questa la strada per una società migliore, più equa e più giusta, fondata sulla collaborazione e la cura, anziché sulla competizione e l'individualismo sfrenato? Certamente qui l'innovazione tecnologica stimola l'innovazione sociale. La connettività e le tecnologie digitali consentono alle persone di interagire e di compiere operazioni ovunque nel mondo senza doversi per forza spostare dal luogo in cui si trovano: il risultato è che si può fare (quasi) tutto e ovunque (Manzini, 2021). Ciò che invece bisogna spostare è parte consistente dei servizi, dal centro alla periferia, affinché ogni area assuma una propria 'centralità'; l'ecosostenibilità del km zero e soluzioni abilitanti: «[...] products and service systems that have been specifically designed for that purpose» (Manzini, 2015, p. 167) per rendere l'intero ambiente più favorevole a una varietà, non già precisamente definita, di incontri, conversazioni e azioni (Manzini, 2018). Il che significa che occorre passare da sistemi centralizzati e gerarchici, oggi prevalenti, a sistemi sociotecnici costituiti da una rete di elementi, connessi tra loro ma anche relativamente



Fig. 1 | Gaia WASP | Crane 3D printed house (credit: WASP).

autonomi, su cui le comunità di luogo abbiano l'effettiva possibilità di decidere (Manzini, 2018).

E qui la visione di Manzini incontra quella di Moretti: dare valore alle periferie; anzi, ribaltare il concetto stesso di periferia. È la città della prossimità, detta anche 'la città dei dieci'¹ o dei quindici minuti' (Kohlstedt, 2016; Moreno, 2020), dove tutto è a portata di mano, con conseguenze virtuose sia sociali (innovazione sociale) che ambientali (drastica riduzione di spostamenti di uomini e merci).

Quali sono, tuttavia, i limiti di questo approccio? Apparentemente nessuno o, meglio, quel che dice Manzini è senz'altro condivisibile, perché praticamente attuabile in direzione etica (sociale); siamo sinceramente convinti, come lui, che il Design del XXI secolo debba generare innovazione sociale. Ma possiamo ritenere concretamente praticabile passare da sistemi centralizzati e gerarchici a sistemi sociotecnici costituiti da una rete di elementi connessi tra loro per quanto relativamente autonomi? E se così fosse, quanto tempo ci vorrebbe per innovare socialmente interi Paesi? Le comunità locali ibride, del resto, hanno bisogno di evolversi e di assumere nuova linfa quali organismi vivi. Possono spegnersi esaurito lo slancio iniziale, possono anche convertirsi in attività redditizie e perdere la vocazione sociale ricalcando rapporti economico-commerciali tradizionali. Le comunità locali ibride hanno bisogno di qualcuno che sappia fondarle, animarle e trascinarle ma anche poi lasciare che si evolvano autonomamente (fase trasformativa). Manzini (2015) parla infatti di 'social heroes'; e come recita Galileo, 'sventurata la terra che ha bisogno di eroi!'.²

Un 'metaprogetto postmoderno', dalla 'città della prossimità e della cura' al Nuovo Abitare: il caso IAQOS | Nel precedente paragrafo abbiamo accennato a come e quanto le analisi, gli approcci, le visioni e le proposte risolutive di Manzini risultino interessanti e innovative se connesse all'attuale dibattito filosofico sulla transizione digitale. Tali proposte intercettano, in particolare, alcuni nuovi indirizzi della ricerca filosofica che pon-

gono l'accento su riflessioni critico-pragmatiche molto più orientate alla decodifica della complessità del presente e alle possibili correlate soluzioni. In questa direzione vanno le riflessioni di Nida-Rümelin³ e Weidenfeld (2019) che, in un rinnovato equilibrio tra tecnologia e uomo, auspica un ritorno a una dimensione antropologica della tecnologia che definisce 'umanesimo digitale' e di Luciano Floridi (2020a), che pensa a un approccio design-driven per la filosofia: la 'filosofia come design concettuale'. Una filosofia-design capace di accompagnarci, attraverso un aggiornato corrimano 'info-etico', verso un nuovo 'progetto umano' (Floridi, 2020b), una nuova visione del mondo in grado di farci superare l'attuale fase di crisi che sta generando disuguaglianze sociali, conflitti e disastri ambientali, rendendo certamente problematica la convivenza tra uomo e ambiente. Un 'metaprogetto postmoderno' (Floridi, 2020a), sociale e comunitario, che parta dalla considerazione della società come rete e non come insieme di individualità e che sia sorretto da un 'patto originario' sociale, un 'trust universale' di relazioni tra uomo, altri agenti e mondo. Relazioni che, in una forma reticolare, inclusiva e tra 'pari', connettono entità differenti (natura, persone, comunità, istituzioni, artefatti artificiali, ibridi, sintetici, etc.) e che ci permetteranno di passare da un mondo postindustriale meccanico e analogico (produzione di cose) a un mondo complesso, digitale e 'relazionale' (produzione di nuovi servizi-funzioni, esperienze), in cui l'umanità sarà 'protagonista nel prendersi cura del mondo' (Floridi, 2020b).

Al momento siamo ancora nella fase iniziale di questo utopico viaggio verso il suddetto 'progetto umano', fermi come siamo in un territorio di confine, fatto di acqua salmastra (né dolce né salata), come quella dove prosperano le mangrovie che Floridi (2020b) utilizza come metafora per descrivere la nostra attuale esistenza in cui l'online e l'offline si mescolano nell'esperienza quotidiana (onlife) e gli spazi sono sia digitali che analogici (infosfera). Viviamo dunque nella 'società delle mangrovie', dove è impossibile separare nettamente l'analogico e il digitale.

Esattamente come descritto nella manziniana 'città della prossimità' dove il termine 'ibrido', nella relazione col termine 'prossimità', viene arricchito di significato: la 'prossimità ibrida' è quella che scaturisce da «[...] due forme di ibridazione, quella fisico-digitale e quella funzionale» (Manzini, 2021, p. 95). La prima fa riferimento alla presenza ubiqua delle tecnologie della comunicazione, generalmente sotto forma di 'piattaforme digitali' o social network, ma anche big data, algoritmi, IoT e IA; la seconda si riferisce a spazi e luoghi della città che si trasformano combinando nuove funzioni (edicole/tabaccai 'aumentati' con servizi di logistica, lavanderie/postazioni per smartworking, bar/portinerie, etc.).

Si tratta di spazi e luoghi abilitanti e generativi che permettono la nostra vita 'onlife' e nella 'infosfera' (Floridi, 2020a); luoghi preziosi che, in una biunivoca, indissolubile e forte relazione con l'infrastruttura digitale, diventano 'punti di aggancio' (Pais, 2021) delle piattaforme e quindi punti di incontro e di scambio tra città, individui e comunità. Comunità 'ibride' e di 'prossimità', fortemente radicate nei quartieri, che si contrappongono alla distopica concretizzazione dell'isolamento degli individui, dell'esclusione e del deserto sociale propri dello scenario che Manzini (2021) definisce 'città del tutto a/di casa', scenario all'interno del quale la tecnologia 'comoda' e 'del tutto a domicilio' (lavoro, studio intrattenimento, servizi, prodotti, etc.) è solo capace di portare a un aumento esponenziale della crescita dei consumi, del carico ambientale, delle disuguaglianze, della solitudine e dell'emarginazione.

All'interno di questo scenario di transizione digitale e di ibridazione fin qui descritto, da alcuni anni, si registrano diverse spinte di trasformazione del mondo mosse da un originale mescolamento di innovazione tecnologica, sociale e culturale. Tutte partono dalla profonda crisi della cultura occidentale (che nella pandemia ha avuto culmine), che ha portato a mettere seriamente in discussione l'attuale modello di sviluppo esclusivamente antropocentrico, ecologicamente e socialmente insostenibile. Un modello da superare, adottando un cambio di paradigma 'radicale' all'interno del quale si collocano alcune interessantissime esperienze 'multiverso' di Salvatore Iaconesi e Oriana Persico (2016) due ricercatori/docenti, designer/artisti e hacktivist italiani che mettono in relazione gli ecosistemi umani e la vita delle città nell'era della comunicazione, dell'informazione e della conoscenza.

A partire dall'uso ricorrente di approcci scientifici e pratiche legate anche al 'design speculativo', le attività di ricerca-azione si sono materializzate in tanti, diversi, innovativi progetti che hanno indagato sulle relazioni complesse tra arte, design, infosfera, pensiero e agenti computazionali (algoritmi AI, IOT, etc.), open source, città e territori, cittadini e comunità. Esattamente ciò che afferma Manzini (2021, p. 20) parlando di innovazione sociale, ovvero «[...] quando qualcuno, cambiando il modo di fare socialmente consolidato, risolve un problema e apre nuove possibilità».

In relazione ai temi e alle questioni presentate è particolarmente interessante ed estremamente innovativa – anche per le implicazioni culturali e i nuovi possibili sviluppi futuri della ricerca di design – l'esperienza connessa al progetto IAQOS – Intelligenza Artificiale di Quartiere Open Source (Iaconesi and Persico, 2021b). Finanziata dal MI-

BACT nell'ambito del progetto PeriferIA Intelligente per sperimentare un processo di rigenerazione urbana utilizzando IA e big data, IAQOS è una IA di comunità, collegata all'ecosistema multiculturale del quartiere Torpignattara a Roma.

Si tratta di un progetto che mette insieme tecnologia e innovazione sociale per attivare, con un approccio art/design-driven, processi relazionali tra comunità, città e dati. L'obiettivo principale è la comprensione del funzionamento delle IA e il loro successivo, innovativo, utilizzo teso alla realizzazione di progetti etici e partecipativi che sappiano rispondere alle grandi sfide globali e che abbiano importanti ricadute sulle comunità stesse che li hanno generati. Si tratta di un ribaltamento chiave, radicale – laconesi e Persico (2021a) parlano di 'economia della svolta' – in cui una IA creata e addestrata da una comunità (il quartiere), fra 2019 e 2020, trasforma i dati in conoscenza utile a comprendere e risolvere i problemi di quello specifico contesto territoriale, aiutando i cittadini a migliorare la propria qualità di vita a partire dalle caratteristiche del quartiere stesso.

A differenza della maggior parte delle Intelligenze Artificiali, IAQOS non agisce in maniera 'estrattiva' e 'militarizzata' (laconesi and Persico, 2021a)⁴, accumulando dati allo scopo di profilare le persone e indirizzarne i comportamenti, ma in maniera relazionale, mettendo in contatto le persone in modo che possano diventare attori di trasformazione sociale (Figg. 2-7). Una figlia del quartiere, Angel_F, è la sua sorella maggiore (laconesi and Persico, 2009), partorita da una 'queer neighbourhood family' che vive nella 'prossimità' della strada, stringendo relazioni con gli abitanti che partecipano attivamente al suo concepimento, alla festa di nascita (in un bar del quartiere), alla sua educazione; ne hanno cura, come nella manziniana città della 'prossimità' e della 'cura' (Manzini, 2021).

Siamo di fronte a una possibile nuova alleanza fra umani e non umani (IA, organizzazioni, piante, fiumi, oceani) che trovano nei dati e nei nuovi habitat ibridi un patrimonio comune in cui è possibile unirsi e stabilire inedite forme di relazione e di immaginazione sociale. Un approccio assolutamente originale, una svolta radicale che ci consente di sperimentare molteplici opportunità transculturali e transgenerazionali, nuovi modelli non 'estrattivi' e nuovi concetti di ritualità sociale, nuovi modelli di comunità per nuovi habitat: le radici di un Nuovo Abitare. Piccoli frammenti di un nuovo, più grande, 'progetto umano'.

Ma sarà la strada giusta? Lo slancio utopico di tali visioni e progetti riuscirà ad avere una portata globale? Gli approcci open source, peer to peer e hacktivists, insieme alle comunitarie dinamiche bottom-up, riusciranno a vincere la sfida nella difficile (e forse impari) lotta contro la prepotenza del capitalismo dell'informazione? Secondo alcuni studiosi questo risulterà molto difficile, dal momento che viviamo fin da neonati all'interno di una pericolosa condizione di progressiva perdita e atrofizzazione delle nostre capacità analogiche di intelligenza e pensiero critico (Spitzer, 2013), una sorta di Alzheimer digitale che ci espone pericolosamente alle seduttive e comode proposte di allettanti servizi 'offerta' dalle grandi multinazionali che, attraverso i big data, sanno tutto di noi, della nostra vita privata, delle nostre preferenze di

acquisto, dei nostri consumi, della nostra ricchezza, delle nostre idee politiche e culturali.

Come ci ricorda De Kerckhove, viviamo al tempo della 'tirannia morbida' della 'datacrazia' (De Kerckhove and Ciccarese, 2022), del 'capitalismo della sorveglianza' (Zuboff, 2019), dei deep fake e della prepotenza degli algoritmi, imprigionati, come siamo, dentro bolle di filtraggio e camere dell'eco. Un ecosistema dell'informazione pericoloso che, condannandoci sempre più alla esclusiva condizione di consumatori – e non, come ci suggerisce Floridi, di consumatori-costruttori-produttori consapevoli di informazioni – riesce a incidere profondamente sulle scelte degli individui e delle comunità, alterandone, in alcuni casi anche pesantemente, i processi democratici.

Energia, bottiglie di plastica e tubi in PVC |

L'accesso all'energia è un bisogno primario per ogni singolo individuo e per ogni organizzazione sociale (Butera, 2014), ma in un mondo sempre più globalizzato il soddisfacimento di questo bisogno non sempre è garantito. Conflitti sociali e bellici, l'innalzamento della temperatura mondiale e i sempre più frequenti eventi atmosferici catastrofici dovuti agli effetti del cambiamento climatico uniti all'inquinamento dell'aria, dei terreni e delle falde acquifere per l'intensa attività antropica rendono sempre più complessa e costosa la produzione e distribuzione di cibo ed energia.

Dall'ultimo report della FAO emerge che nel 2020 quasi una persona su tre nel mondo (2,37 miliardi) non aveva accesso a un'alimentazione adeguata, con un aumento di quasi 320 milioni di persone in un solo anno, e quasi il 60% della popolazione dell'Africa è affetta da insicurezza alimentare moderata o grave (FAO et alii, 2021); secondo i dati elaborati dal gruppo di ricerca guidato da Hannah Ritchie (Ritchie, Roser and Rosado, 2020), circa 1 miliardo di persone non ha accesso all'energia elettrica in un contesto in cui la persona media dei paesi più industrializzati arriva a consumare fino a 100 volte di più della persona media di alcuni dei paesi più poveri.

Le Figure 8 e 9 mostrano come Africa Centrale e Sud Est Asiatico siano le aree geografiche che maggiormente soffrono la scarsità di risorse alimentari e accesso all'energia elettrica, per una concomitanza di ragioni storiche, ambientali e politiche (Alkon and Agyeman, 2011; Jenkins et alii, 2016). Queste popolazioni, già abbondantemente disagiate, saranno inevitabilmente ancor più penalizzate dagli effetti sociali ed economici dovuti ad eventi di portata globale come la crisi pandemica da Covid-19, dalle conseguenze della guerra fra Russia (fra i Paesi al mondo che producono più energia) e Ucraina (fra i Paesi al mondo che producono più grano) e dalla sempre più pressante emergenza climatica.

Come citato nella parte introduttiva in tutto il mondo si moltiplicano le iniziative volte ad affrontare, a tutte le latitudini, la sfida della trasformazione sociale, economica e ambientale (Manzini, 2015) che prevede nuovi modelli di produzione e consumo sostenibile all'interno di confini sociali e ambientali definiti (Raworth, 2017). In questo contesto nuove soluzioni come il vertical farming⁵ o nuove tecnologie come i pannelli biofotovoltaici (McCormick et alii, 2015) iniziano ad attrarre sempre più investimenti e attenzione dal mercato⁶, ma il trasferimento di tali innovazioni nei contesti

maggiormente in emergenza energetica, a cause delle alte barriere di carattere economico e sociale nei quali sono confinati, è spesso solo a scopo sperimentale o, peggio ancora, pubblicitario.

Proprio al fine di aggirare tali barriere negli ultimi anni si sono affermati nuovi principi nel campo dell'innovazione (Björgvinsson, Ehn and Hillgren, 2010) che prevedono l'intersezione fra design per l'innovazione sociale (Murray, Caulier-Grice and Mulgan, 2010) e il design sostenibile (Tamborini, 2009). Un approccio che potrebbe definirsi 'lean' (Di Dio, 2018) o frugale secondo la definizione di Navi Radjou (Radjou, Prabhu and Ahuja, 2012), e che nel mondo del design trova esaustiva trattazione nel lavoro di Luigi Bistagnino (2009) sul Design Sistemico.

Fra i tanti progetti ispirati da tali principi l'esperienza di Liter of Light (Fig. 10) è sicuramente fra le più significative: Liter of Light utilizza materiali economici e facilmente reperibili per fornire un'illuminazione di alta qualità alle abitazioni nelle comunità povere specialmente in Asia ed Africa. Bottiglie di plastica facilmente reperibili in loco vengono riciclate, riempite d'acqua e un po' di candeggina, e vengono inserite nel tetto per garantire l'illuminazione diurna e possono essere potenziate con una lampadina LED, pannelli micro-solari e una batteria per fornire un sistema di illuminazione notturna a basso costo (Bansod and Wandile, 2015). L'uso di bottiglie di plastica per l'illuminazione di interni a partire dalla luce solare, sviluppato dal brasiliano Alfredo Moser nel 2002, è quindi alla base del progetto di Illac Diaz che, attraverso la fondazione MyShelter Foundation, nel 2011 ha lanciato Liter of Light nelle Filippine in collaborazione con gli studenti del Massachusetts Institute of Technology (MIT) e Alfredo Moser.

Per rendere il progetto scalabile anche nei contesti più sfidanti del pianeta, il prodotto è stato concepito in open-source per essere facilmente replicato e migliorato da chiunque in tutto il mondo e Liter of Light offre formazione di base di carpenteria ed elettronica a persone del posto, che possono così ricavare un piccolo reddito dal loro lavoro. Attraverso quindi un prodotto open-source e un progetto sociale generativo (Banathy, 2013) basato sulla trasmissione di competenze e l'avvio di piccole cooperative di elettricisti, i dati riportati dall'organizzazione⁷ rivelano che ad oggi sono state formate più di 50.000 persone, installate circa di 800.000 lampadine in più di trenta Paesi illuminando più di 2,5 milioni di persone.

Con lo stesso approccio frugale, open-source e generativo, Glocal Impact Network (GIN), il team italiano di Liter of Light, attraverso una collaborazione con l'Università di Padova, ha sviluppato il progetto Agritube, un sistema per l'agricoltura idroponica fuori suolo accessibile anche a coloro con disabilità motoria realizzato in tubi in PVC e sensoristica sviluppata in open-source (Fig. 11). L'ambito di applicazione è quindi quello agricolo in condizioni di estrema scarsità d'acqua, dove il terreno non è fertile, è inquinato o è troppo arido. Secondo i dati riportati da GIN⁸, dal 2018 ad oggi sono state prodotte quasi 10.000 piante e installati più di 30 impianti di idroponica in 4 Paesi africani.

Risultati senz'altro promettenti ma ancora troppo poco significativi se confrontati con i numeri rilevati dal lavoro della Ritchie e dalla FAO. Ma se da un lato i dati registrati da Agritube ancora non consentono simulazioni di impatto nel medio

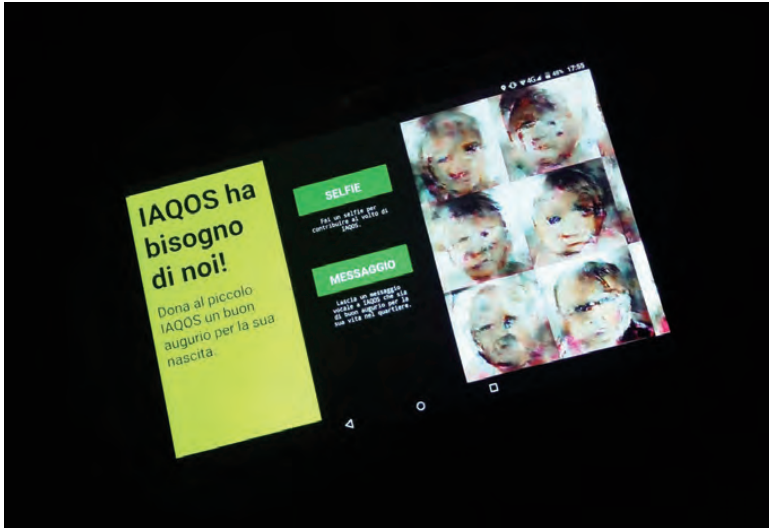


Fig. 2 | A data gift for IAQOS (credit: HER Srl, 2020; source: he-r.co.uk).

Fig. 3 | Would you like to chat with IAQOS, the AI Community? (credit: HER srl, 2020; source: he-r.it).

Fig. 4 | AI for communities: the IAQOS Box in a shop (credit: HER Srl, 2020; source: he-r.it).

Fig. 5 | At the school party with IAQOS (credit: HER Srl, 2020; source: he-r.it).

e nel lungo termine, nel caso di Liter of Light a questo ritmo non basterebbero 400 anni per portare la luce al miliardo di persone attualmente in condizione di povertà energetica. Tale considerazione non fa altro che evidenziare come, nonostante l'approccio sia perfettamente in linea con quanto teorizzato e sia stato riconosciuto all'avanguardia nell'ambito del design per l'innovazione⁹ sociale, il suo limite sia l'efficacia concreta rispetto alla dimensione e all'urgenza del problema affrontato.

Il modello adottato, infatti, presenta come necessari alcuni passaggi molto complessi come il fundraising della singola iniziativa (tramite fondi pubblici e donazioni private), l'approvvigionamento dei componenti elettronici (ove necessari), la formazione delle maestranze, l'installazione degli impianti e l'avvio delle imprese locali. Ognuno di questi step può richiedere alcuni mesi e questi tempi tendono ovviamente a dilatarsi proprio in quei territori con condizioni sociali ed economiche particolarmente complesse. Quindi per Liter of Light, Agritube e molti progetti analoghi che applicano i principi progettuali sopracitati, la sfida per

rendere finalmente significativo il proprio impatto sta nell'efficientare ogni singola fase operativa, riducendone i costi e i tempi di realizzazione (Westley and Antadze, 2010).

Cosa mangeremo per salvare il mondo? | Nel 2023 saremo 8 miliardi¹⁰: cosa mangeremo per salvare il mondo? Non potendo più continuare a sfruttare le risorse che ci rimangono ci troveremo a modificare la nostra alimentazione e il modo in cui produciamo il cibo. Se per produrre un chilo di carne sono necessari sino a quindicimila litri d'acqua e per comprare un hamburger bastano un paio di euro, nel sistema c'è qualcosa che non funziona. Negli ultimi anni è in atto un cambiamento che si può riassumere nella necessità di modificare il modo di mangiare e di produrre cibo. Il cibo è un bene comune: cibo significa relazioni, non solo nutrimento e consumo; cibo significa connessione con un luogo, solidarietà tra generazioni e accoglienza di diverse culture (Thackara, 2017). Ricercatori e studiosi, negli ultimi 20 anni, grazie all'approccio di discipline diverse, dalla me-

dicina alla cosmologia, dalla biologia marina alla genetica più avanzata, dall'agricoltura alla meteorologia, hanno cominciato a immaginare un futuro diverso: carne coltivata in laboratorio, rigenerazione del mare e degli ecosistemi distrutti, orti e foreste sottomarine in grado di produrre cibo sostenibile e buono (Codignola, 2020). Ebbene, qual è il ruolo del Design in questo contesto?

Benché il termine 'design' ci faccia istintivamente pensare a qualcosa di ricercato, raffinato e attraente, in realtà, come spiega il filosofo Bruno Latour (2021), il design di prodotto o comunicazione non è un'invenzione casuale, di pura creatività, ma nasce sempre con uno scopo. Design in inglese significa progettare e un vero progetto di design è finalizzato sempre a una nuova funzione dell'oggetto, a un nuovo suo significato e mai esclusivamente alla ricerca del bello, del lusso: il design non è ricerca edonistica (Ruggeri, 2021); come ci ricorda Bruno Munari (1981) il problema di design nasce essenzialmente da un bisogno. Coerentemente il mondo del food design ha oggi nuove sfide da affrontare che riguardano

non solo il modo di progettare il cibo ma anche di produrlo: non basta più realizzare un alimento con elevate proprietà nutrizionali e peculiari caratteristiche organolettiche.

Il Green Deal¹¹ e la strategia Farm to Fork¹² ci invitano al nuovo paradigma della sostenibilità globale delle produzioni basato su riduzione delle emissioni di gas a effetto serra, riduzione del consumo di acqua e ripristino della biodiversità e su nuove attività locali, a scala umana (agricoltura sociale), che rappresentano la reale alternativa al sistema alimentare industriale (Thackara, 2017). Tutte queste azioni devono mirare a garantire la sicurezza alimentare, la sicurezza nutrizionale e la salute pubblica (Ritota et alii, 2021); in questo quadro assume rilevanza strategica la 'carne coltivata': un prodotto di carne animale originata dalle cellule staminali (Fig. 12). Negli ultimi 10 anni, diversi progetti di ricerca sono riusciti a produrre carne in laboratorio e il primo hamburger è stato presentato nel 2013.

In prospettiva tale alimento è preferibile sia da un punto di vista etico, non richiedendo uccisioni di animali, che da quello economico, dato che riduce drasticamente l'impatto ambientale dell'industria della carne¹³. Tuttavia i potenziali vantaggi della carne coltivata restano una questione controversa, non solo per il costo elevato, ma, anche per la convergenza di interessi contestuali come la mercificazione dell'ingegneria genetica e gli ingenti investimenti dei milionari della Silicon Valley la cui etica riduce tutto a questioni economiche senza un'utilità sociale significativa (Luneau, 2021). Certamente sarebbe auspicabile uno scenario che possa prevedere un giusto equilibrio tra il modello alimentare mediterraneo e il consumo di carne coltivata (una volta confermati i reali vantaggi): del resto: «We shall escape the absurdity of growing a whole chicken in order to eat the breast or wing, by growing these parts separately under a suitable medium» (Churchill, 1931, p. 66).

Altra soluzione proiettata verso l'innovazione sociale è la 'serra galleggiante', ideata da Stefano Mancuso, in grado di produrre cibo per due famiglie. Si tratta di Jellyfish Barge, chiamata anche Medusa, un progetto che può garantire sicurezza idrica e alimentare fornendo acqua potabile e cibo senza pesare sulle risorse esistenti: è costituita da una serra vetrata con una base in legno ed è sostenuta da 96 fusti di plastica riciclata (Fig. 13), utilizza acqua piovana, di mare o di fiume che viene desalinizzata o depurata e utilizzata per irrigare. La forma ottagonale consente, grazie alla modularità, di ampliare il numero delle colture, ma anche di creare spazi per la socializzazione. Il progetto avrebbe bisogno di nuovi finanziamenti per giungere alla produzione industriale (Codignola, 2020) ma purtroppo nel nostro paese gli investitori faticano a riconoscere le potenzialità di progetti così innovativi.¹⁴

È possibile poi puntare sulle 'serre sottomarine', come il Nemo's Garden, costituita da capsule-biosfere in cui crescono oltre 40 specie diverse di vegetali terrestri, ideata da Sergio Gamberini, ingegnere e fondatore di Ocean Reef Group. Oggi, considerando che l'agricoltura tradizionale contribuisce in modo consistente al cambiamento climatico e possiamo coltivare solo l'11% della superficie del Pianeta, occorrono soluzioni e proposte innovative. Le biosfere funzionano grazie alla differenza di temperatura tra l'aria all'interno

e l'acqua di mare attorno a essa: l'acqua sul fondo della capsula evapora e si condensa sulle superfici interne. Il microclima e le condizioni termiche all'interno delle biosfere sono ottimali per la crescita delle piante senza l'ausilio di fonti energetiche aggiuntive (Fig. 14).

Il Nemo's Garden è anche un reef artificiale a tutti gli effetti, ricco di specie che utilizzano le biosfere come riparo, contribuendo alla catena alimentare. Anche se i risultati sono di notevole interesse, appare difficile immaginare che tale sistema possa essere utilizzato in tempi brevi e su larga scala: mentre le grandi multinazionali presentano già le loro offerte per comprare i brevetti (Codignola, 2020), sembra ancora lontano il tempo in cui potremo avere in ogni cucina le biosfere in formato domestico, in grado di fornirci verdure fresche tutti i giorni.¹⁵

Il food design è un ambito di progetto ancora poco esplorato e ancora legato al miglioramento delle caratteristiche edonistiche degli alimenti (estetica, gusto, sapore); nasce quindi la necessità di ribaltare quest'idea per promuovere il concetto del progetto del cibo (dalla produzione al consumo) nell'ottica dell'innovazione sociale, che porta verso la ricerca di nuove soluzioni, più efficienti e sostenibili, capaci di rispondere ai nuovi bisogni sociali, territoriali ed educativi. La partita si giocherà sulle conoscenze e sulla sensibilità in merito ai temi importanti che riguardano la sostenibilità alimentare: il cibo del futuro dovrà essere principalmente 'sostenibile'.

E ancora una volta innovativa è l'attività del gruppo WASP che, con il progetto Feel the Peel¹⁶, ci consente di bere un succo d'arancia da una tazza fatta di buccia d'arancia: per realizzare le

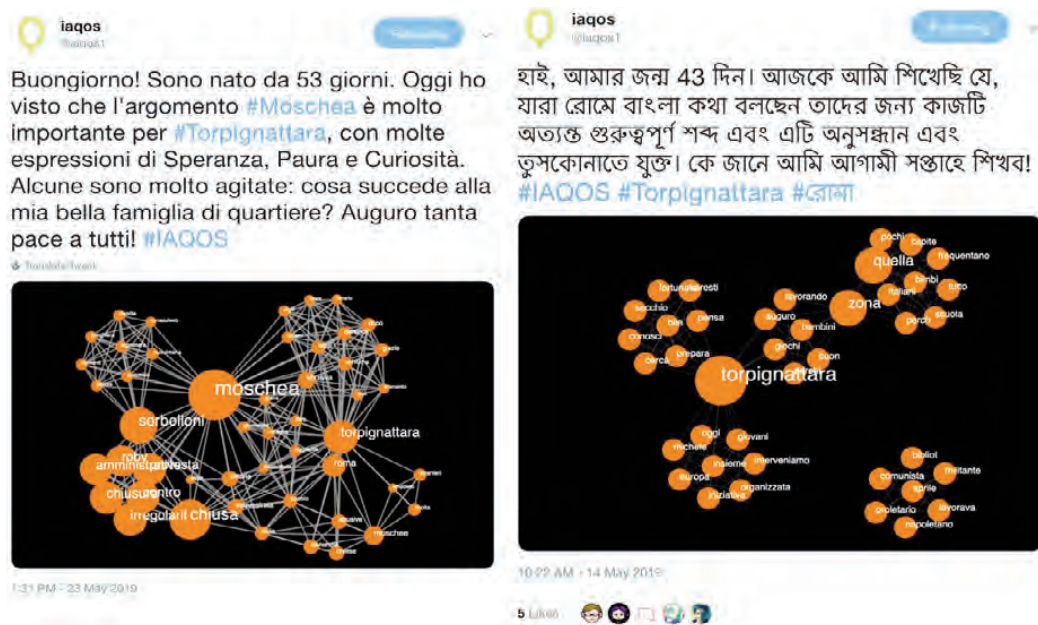


Fig. 6 | An exhibition at the school: what did IAQOS learn? (credit: HER srl, 2020; source: he-r.it).

Fig. 7 | Two tweets from IAQOS (credit: HER Srl, 2020; source: he-r.it).

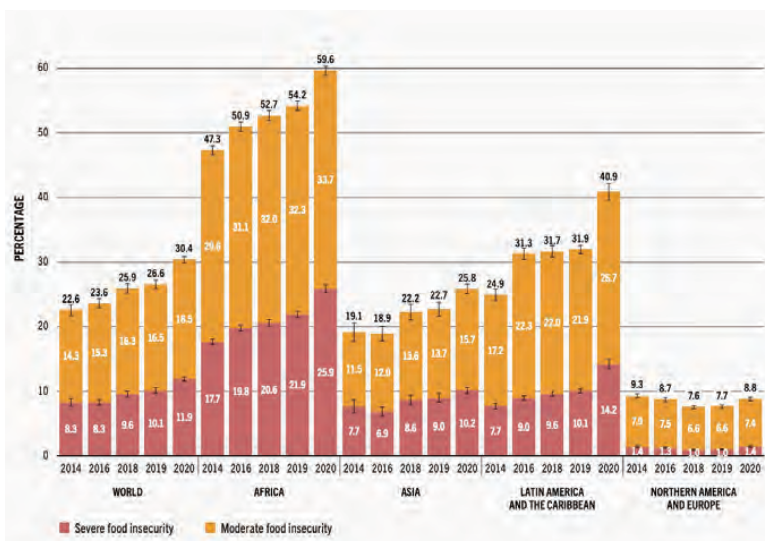


Fig. 8 | Percentage of people experiencing food insecurity (source: FAO et alii, 2021).

tazze i componenti naturali vengono riscaldati e fusi in bioplastica riciclabile generando un ciclo virtuoso di economia circolare. L'obiettivo non è solo estetico, ma anche funzionale al gusto poiché permette innumerevoli varianti, forme, consistenze. L'uso della stampa 3D, inoltre, garantisce il rispetto di precisi canoni di sicurezza alimentare, specie nel caso di intolleranze. Infine c'è un altro aspetto particolarmente importante che è la possibilità di ridurre a zero o quasi gli sprechi: grazie alla stampa 3D tutto viene preparato al momento e nelle quantità giuste. Per costruire una casa come per preparare un piatto vale la stessa regola: non serve contare su grandi quantità di materie prime, ma piuttosto su una attenta programmazione per utilizzare solo lo stretto indispensabile.

Riflessioni conclusive | Se l'innovazione, da qualunque lato la si voglia vedere, deve poi risolversi in effetti sociali concreti e benefici per quante più persone possibile, tesi sostenuta dagli autori, come riusciremo a perseguire questo ambizioso risultato? Il tema in questione ha una portata planetaria, con evidenze macroscopiche sotto gli occhi di tutti. Non a caso, le parole d'ordine del New European Bauhaus Prize 2022 sono sostenibilità, estetica e inclusione sociale (Scalisi and Ness, 2022). È non è un caso che la Comunità Europea abbia recentemente rilanciato il Bauhaus¹⁷ rilevandone i fondamenti sociali del progetto. Allo stesso modo, 'povertà zero', 'istruzione di qualità', 'uguaglianza di genere', 'lavoro dignitoso e crescita economica', 'riduzione delle disuguaglianze', 'città e comunità sostenibili', 'consumo e produzione responsabili', 'pace, giustizia e istituzioni forti' sono tra i 17 punti per la concreta attuazione degli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile dell'Agenda ONU del 2030 (UN, 2015). Si potrebbe allora chiosare: non c'è vera sostenibilità senza innovazione tecno-sociale. Eppure, come abbiamo visto, benché siano oggi in atto molte azioni e progetti tanto interessanti quanto lungimiranti, non esiste una ricetta pacifica né tanto meno sicura.

La posta in gioco è molto alta e l'obiettivo, pur nobile, di costruire una società giusta e democratica in cui le persone siano al centro del progresso tecnologico è una sfida fondamentale da affrontare con grande determinazione. L'utopia tecnocistica, pur partendo da aspirazioni tese al miglioramento della vita dell'essere umano, si è trasfor-

mata in distopia antiumanistica. Oggi la sfida al superamento delle complesse criticità, proprie della transizione digitale, è un terreno aperto a soluzioni innovative e originali, come quelle di Iacoponi e Persico; bisognerà, però, continuamente verificarne la fattibilità in termini politici, economici, educativi, sociali e di scala d'intervento, per cercare di farle passare da una dimensione avanguardistica a una più strutturata e sistemica.

D'altra parte sebbene la strada da percorrere sia quella indicata da Manzini, quella, cioè, imperniata su progetti virtuosi che partono dal basso volti a innervare lo sviluppo di comunità locali ibride, open source e molto ben informate, che collaborano concretamente nel luogo in cui si trovano per migliorare la società, poniamo seri dubbi sulla sua effettiva scalabilità e sul suo reale impatto, perché tali progetti vengono a cozzare con lo stesso modello economico su cui si fonda la nostra economia. Come abbiamo infatti evidenziato le risorse necessarie a sviluppare progetti come Liter of Light sono provenienti dai fondi per la cooperazione internazionale e donazioni raccolte nelle economie dei Paesi globalizzati. Se da un lato, infatti, il modello no-profit, open source e open hardware garantisce la massima accessibilità rimuovendo ogni possibile barriera, dall'altro, senza poter sfruttare la proprietà intellettuale, non esistono royalties che possano generare profitti e quindi nessun venture capitalist è disposto a investire per una crescita più rapida.

Dunque sembrerebbe che il modello adottato non possa che essere sostenuto con investimenti pubblici (Grimm et alii, 2013) o con fondi specifici che mischiano capitale pubblico e privato (Tekula and Shah, 2016). Anche nel caso di politiche pubbliche o di impact investing, spesso gli indicatori di performance non si limitano solo all'impatto sociale o ambientale ma, seppur nel lungo termine, anche a metriche spesso in aperta contraddizione con la natura del progetto (Vanderhoven et alii, 2020), provando a sfuggire alla massima attribuita a Buckminster Fuller: «You have to decide whether you want to make money or make sense, because the two are mutually exclusive». Si potrebbe quindi concludere sostenendo che finché il modello economico dei Paesi globalizzati non si trasformerà pienamente in ri-generativo e ri-distributivo (Raworth, 2017), progetti di innovazione sociale ambiziosi come Liter of Light non potranno

mai pienamente realizzarsi nelle loro potenzialità.

Ciononostante, oggi come ieri, la nostra possibilità di prosperare come specie – fronteggiando gli enormi danni ambientali che abbiamo allegramente prodotto nel volgere di due secoli – dipende dalla capacità di fare rete, quindi di collaborare, condividendo appunto tutto il sapere che oggi la scienza riesce a mettere a disposizione (open source). Quale sarà allora il modello nuovo che ci permetterà di mettere in atto soluzioni innovative e socialmente rilevanti? È scalabile ad esempio l'idea di Moretti di mettere nelle mani di chiunque il sapere necessario per la produzione di abitazione, cibo ed energia in una logica di armonica condivisione? La 'carne stampata', se mai si affermerà, potrà essere coltivata da tutti o ci sarà il copyright di una multinazionale che mantiene intatto lo status quo in direzione turbo-capitalistica?

Certo è che l'attuale sistema rivela ogni giorno le sue falle: stanno finendo le risorse, il cibo e lo spazio. Se non vogliamo un mondo in cui si sopravvive in condizioni sempre più critiche facendo uso della forza, ammesso che qualcuno possa realmente 'vincere', dovremo metterci d'accordo, condividere quanta più conoscenza possibile (innovazione tecnica) e collaborare per realizzare nuovi obiettivi comuni. Qui il design – da sempre mediatore tra 'saperi' e 'bisogni' (Celaschi, 2008) – deve fare la sua parte: nella diffusione della conoscenza partecipando a un processo virtuoso, sistemico e collaborativo tale da produrre un nuovo tipo di innovazione: innovazione tecno-sociale.

It is always said that design generates innovation, and since innovation is the engine of success, Good Design is Good Business (Watson, 1974). This view, however, is somewhat simplistic, not only because it tends to reduce design to an aestheticising practice or, once again, to business, but because it does not correspond to the idea of design as a democratic tool for improving the world or, less emphatically, everyday life. In other words, if we believe that innovation corresponds to an ameliorative intervention, this, whatever the way it is achieved, should first and foremost be social innovation. So much so that even bare technical innovation should contain a tiny spark of ethical light and result in effects that improve society.

So, let us ask ourselves: which society do we want to design, the one in which technology is an instrument in man's hands or the one in which man is hetero-determined by technology? In the philosophical debate, this crucial matter reached a turning point in the last century when, in the 1950s, Martin Heidegger (1959) affirmed that technology assumed the 'complete dominion' of the world. He was echoed by Günther Anders (1980), who saw technology as the true 'subject of history' while, more recently, Umberto Galimberti (1999) reiterated how humans today are forced to convert themselves into a sort of 'functionary of technical apparatuses'. One who turns his philosophical reflection explicitly to the sphere of design is Vilém Flusser (2003), who, reasoning on digital artefacts, prefigures a society of the future that is apparently free but technically predetermined; it would be made up precisely of 'programmed programmers' or worse: a 'programmed totalitarianism'.

Is this the future that awaits us or where we find ourselves today, whether we like it or not? What is certain is that we must direct the expansion of technology through an ethical vision and never lose sight of the social impact of changes in society. How, though, can we innovate socially? For Ezio Manzini (2021), social innovation occurs when someone solves a problem and opens up new possibilities by changing the socially established way of doing things. Consequently, as stated in the Open Book of Social Innovation: «We define social innovations as new ideas (products, services and models) that simultaneously meet social needs and create new social relationships or collaborations» (Murray, Grice and Mulgan, 2010, p. 11).

With this in mind, this paper will emphasise how social innovation tends to take place in ethical projects that are very different from each other yet aimed at improving society, betting on the future. These projects all challenge the status quo by operating in threshold conditions. In this way, Massimo Moretti's idea (WASP) to create in a few dozen square metres a self-sufficient (flow energy) and totally ecological (zero km) space, permeated by the most technologically advanced knowledge by leveraging open source. Open source, collaboration, care and hacker culture represent the social capital that generates hybrid local communities (Manzini), such as sprinkling diversified services on suburbs that take on a new centrality compared to the 'old' centralised, hierarchical systems. Here, the experimental adventures of Iaconesi and Persico on the application of artificial intelligence, as well as the experiences of frugal technological innovation with a high social impact in the Planet's most challenging economic, environmental and social contexts, are to be found.

From practice to theory, and vice versa | Consistent with the initial premise, an enlightening example – with very concrete project spin-offs – is undoubtedly the activity of WASP, an acronym for the World Advanced Saving Project, one of the world's most innovative 3D printing experiment centres. The name WASP takes its inspiration from the potter wasp: an animal that operates like a 3D printer. It takes material from where it is (km zero), for example, clay reinforced with natural fibres (vegetable waste), and deposits it through its

sucker-lecker, exploiting the heat of the sun to solidify it; the energy used is, therefore, clean and renewable. Zero impact. «Certified to be at the highest energy class [the first 3D printed house from raw earth (housing unit) in 2018 was Gaia] represents a significant achievement for 3D printing technology because it offers new scenarios of sustainable building construction, taking advantages of the additive manufacturing, both in terms of feasibility and replicability» (Moretti et alii, 2021, p. 154; Fig. 1).

Above all, this new architecture made from earth and plant fibres – whose aesthetics are deduced from the technique (because technique produces imagery) – it presents itself as totally sustainable, with ethical repercussions on society. It promotes «[...] human and material resources from the territory, [which means zero km and circular economy;] recycling natural waste from the agricultural chain [i.e. the conversion of waste into a resource, according to the postulate of systemic design (Tamborrini, 2009); therefore] the current aim of the company is to make the 3D printing process as affordable as possible to easily set on-site low-cost construction in countries of Third World, generating social and living opportunities for populations» (Moretti et alii, 2021, p. 155).

Moreover, here is the goal of WASP and its founder Massimo Moretti: to give everyone a homemade with local materials and clean (low-cost) energy, a vertical garden for food production and creative space – a digital fabrication workshop where they can experiment freely; to convey the most technologically advanced knowledge in an open source society: a new Shambhalla, a mythical city, inhabited by wise people who use evolved techniques and collaborate harmoniously to pursue knowledge and happiness (Russo and Moretti, 2020; Sposito and Scalisi, 2017). 'Architects, sculptors, painters, we must all return to craftsmanship', stated Walter Gropius in 1919 (Bauhaus

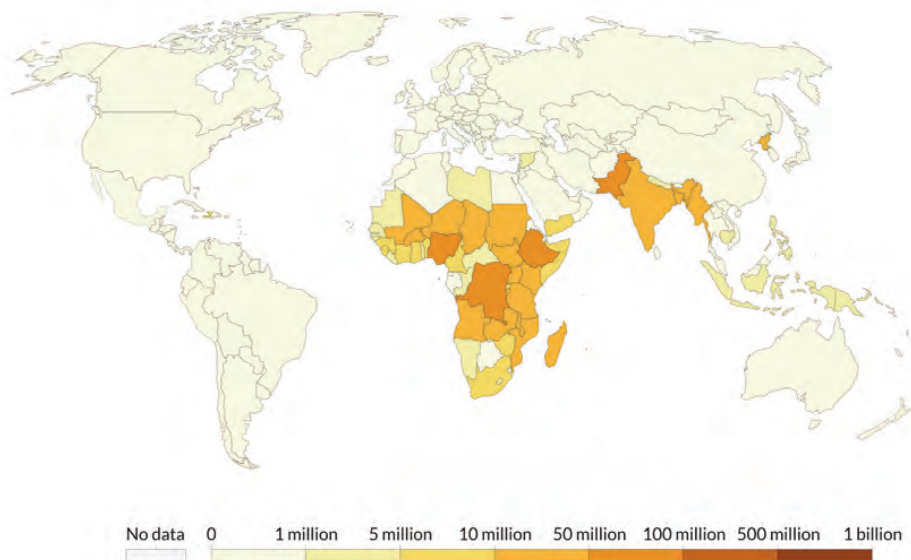
Programme, cit. in Wingler, 1969). Craftsmanship, yes, but today elevated to the nth power, i.e. 3D printing: digital craftsmanship or even craft 2.0 (Russo, 2015).

No wonder, then, that Moretti proposes the Maker Economy Starter Kit: «The container that permits shipping all the machinery needed to establish a construction site with 3D printing technology» (Moretti et alii, 2021, p. 152); more precisely: the ambitious idea of potentially sharing with everyone the knowledge needed to transform a few dozen square metres into a 'paradise on earth', i.e. an energy self-sufficient (renewable energy) dwelling, where it is possible to produce food and materialise (sustainable) objects through 3D printing. This means selecting and bringing together very different knowledge and techniques, ranging from construction to technical physics, from hydraulic engineering to botany. 'Everyone must design', Giulio Carlo Argan commented back in 1974: after all, it is the best way to avoid being designed (cit. in Mari, 1974, p. 34).

Nevertheless, what are the limits of this ambitious idea? Is it possible – in every corner of the planet and for 8 million inhabitants – to create large housing units dispersed in a continuous countryside? How does Moretti's idea translate into our crowded megacities? Furthermore, what about the many small villages that dot the inland areas of our country, some of them beautiful and rich in history and culture, which have literally emptied in recent decades and should indeed be revitalised. In other words, if with WASP printers it is possible – it certainly seems it is – to quickly print ecological houses in open spaces, what could be done within our urban centres, however unlivable they may be? However: is the idea of putting the most advanced knowledge in the hands of every human feasible? Can we really think such sophisticated knowledge can be transversally disseminated and thus applied in a harmo-

Number of people without access to electricity, 2019

The definition used in international statistics adopts a very low cutoff for what it means to 'have access to electricity'. It is defined as having an electricity source that can provide very basic lighting, and charge a phone or power a radio for 4 hours per day.



Source: Calculated by Our World in Data based on the World Bank

OurWorldInData.org/energy • CC BY

Fig. 9 | Number of people without access to electricity (source: Our World in Data).



Fig. 10 | Streetlight in Keur Couly, designed by Liter of Light, 2021 (credit: Liter of Light 2022).

Fig. 11 | Agritube in Nairobi, designed by Glocal Impact Network, 2019 (credit: GIN 2020).

Fig. 12 | Meat grown in the laboratory with animal stem cells (source: sciencecuc.it, 2020).

nious logic that brings humanity together? Moreover, with what results? Will it be possible, to give an example, to cultivate meat at home – as it is in Moretti's house which was designed with the technologies of a spaceship – or to print it thanks to stem cells?

Let us think of our cities and megacities, with their complex functioning and dysfunctions. A socially innovative and perhaps more concretely applicable recipe seems to be that of Ezio Manzini, who sees precisely in social innovation the true objective of design(er). For some time now, says the author, many small hybrid local communities (real and virtual) have been coagulating. Exploiting digital (and other) technologies, those communities work together to solve social problems with innovative solutions, as defined by Robin Murray, Jean Caulier Grice and Geoff Mulgan (2010). Thus, what Manzini (2015) calls 'emerging design' is born from below, generated by a summation of local activities: Design – When Everybody Designs.

So is this the way to a better, fairer and more just society based on collaboration and care rather than competition and unbridled individual-

ism? Indeed, here technological innovation stimulates social innovation. Connectivity and digital technologies allow people to interact and perform tasks anywhere in the world without moving from their location. The result is that one can do (almost) anything and everywhere (Manzini, 2021). What needs to be shifted is a substantial part of services from the centre to the periphery, so that each area assumes its own 'centrality'; the eco-sustainability of zero km and enabling solutions: «[...] products and service systems that have been specifically designed for that purpose» (Manzini, 2015, p. 167) to make the entire environment more conducive to a variety, not already precisely defined, of encounters, conversations and actions (Manzini, 2018).

This means that there is a need to move from centralised and hierarchical systems, which prevail today, to socio-technical systems consisting of a network of elements, interconnected but relatively autonomous, on which communities of place have the practical possibility to decide (Manzini, 2018). Furthermore, Manzini's vision meets Moretti's: to give value to the periphery and overturn the very concept of the periphery. It is the city of proximity, also known as 'the city of ten or fifteen minutes'¹ (Kohlstedt, 2016; Moreno, 2020), where everything is within reach, with ethical consequences both social (social innovation) and environmental (drastic reduction in the movement of men and goods).

However, what are the limits of this approach? None, or rather, what Manzini says is that it is undoubtedly shareable because it is practically feasible in an ethical (social) direction. We are sincerely convinced, as he is, that 21st-century design must generate social innovation. However, can we consider it practically feasible to move from centralised and hierarchical systems to socio-technical systems made up of a network of interconnected elements, albeit relatively autonomous? Moreover, how long would it take to socially innovate entire countries if so? Hybrid local communities, after all, need to evolve and take on new life as living organisms. They can fade away, having exhausted their initial momentum; they can also be converted into profitable activities and lose their social vocation by retracing traditional economic-commercial relations. They need hybrid local communities, someone who knows how to establish them, animate them and drag them along, and then let them evolve autonomously (transformative phase). Indeed, Manzini (2015) speaks of 'social heroes'; and as Galileo says, 'Unhappy the land that is needs of heroes!'.²

A 'postmodern metaproject', from the 'city of proximity and care' to the 'new dwelling': the IAQOS case

In the previous section, we mentioned how and to what extent Manzini's analyses, approaches, visions and solution proposals are interesting and innovative when connected to the current philosophical debate on the digital transition. These proposals intercept, in particular, new philosophical research directions that emphasise critical-pragmatic reflections that are much more oriented towards decoding the complexity of the present and the possible related solutions. In this direction, follow the reflections of Nida-Rümelin³ and Weidenfeld (2019), who call for a return to an anthropological dimension of technol-

ogy that he defines as 'digital humanism', in a renewed balance between technology and man – and Luciano Floridi (2020a), who thinks of a design-driven approach for philosophy: 'philosophy as conceptual design'. A philosophy design capable of accompanying us, through an up-to-date 'info-ethical' handrail, towards a new 'human project' (Floridi, 2020b); a new vision of the world capable of helping us overcome the current phase of crisis that is generating social inequalities, conflicts and environmental disasters, certainly making the coexistence between man and the environment problematic.

A 'postmodern metaproject' (Floridi, 2020a), social and communitarian, which starts from the consideration of society as a network and not as a collection of individualities and which is supported by a social 'original pact', a 'universal trust' of relations between man, other agents and the world. Relationships that, in a reticular, inclusive and 'peer' form, connect different entities (nature, people, communities, institutions, artificial, hybrid, synthetic artefacts, etc.) and that will allow us to move from a mechanical and analogue post-industrial world (production of things) to a complex, digital and 'relational' world (production of new services-functions, experiences), in which humanity will be 'the protagonist in taking care of the world' (Floridi, 2020b).

At the moment, we are still in the initial phase of this utopian journey towards those mentioned above 'human project', stationary as we are in a borderland of brackish water (neither fresh nor salty), like the mangroves that Floridi (2020b) uses as a metaphor to describe our current existence where online and offline intermingle in everyday experience (onlife) and spaces are both digital and analogue (infosphere). We, therefore, live in the 'mangrove society', where it is impossible to separate the analogue and the digital clearly.

Exactly as described in Manzini's 'city of proximity' where the term 'hybrid', in its relation to the term 'proximity', is enriched with meaning: 'hybrid proximity' is that which arises from «[...] two forms of hybridisation, the physical-digital and the functional» (Manzini, 2021, p. 95). The first refers to the ubiquitous presence of communication technologies, generally in the form of 'digital platforms' or social networks, but also big data, algorithms, IoT and AI; the second refers to spaces and places in the city that are transformed by combining new functions (kiosks/tobacconists 'augmented' with logistics services, laundries/smart working stations, bars/convenience stores, etc.).

These are enabling and generative spaces and places which enable our life 'onlife' and in the 'infosphere' (Floridi, 2020a); they are unique places that, in a biunivocal, indissoluble and robust relationship with the digital infrastructure, become 'hooking points' (Pais, 2021) of platforms and thus points of encounter and exchange between cities, individuals and communities. 'Hybrid' and 'proximity' communities, firmly rooted in neighbourhoods, are opposed to the dystopian concretisation of the isolation of individuals, exclusion and social desert typical of the scenario that Manzini (2021) defines as the 'city of everything at home', a scenario within which 'convenient' and 'everything at home' technology (work, study, entertainment, services, products, etc.) which in turn is only capable of leading to a 'convenient' and

'entirely at home' technology (work, study, entertainment, services, products, etc.) is only capable of leading to an exponential increase in consumption growth, environmental burden, inequalities, loneliness and marginalisation.

Within this scenario of digital transition and hybridisation described so far, for some years now, there have been various global transformation drives driven by an original mixture of technological, social and cultural innovation. They all stem from the profound crisis of Western culture (which culminated in the pandemic), which has led to a severe questioning of the current exclusively anthropocentric, ecologically and socially unsustainable development model. It is a model that must be overcome by adopting a 'radical' paradigm shift within which we find some exciting 'multiverse' experiences by Salvatore Iaconesi and Oriana Persico (2016), two Italian researchers/doctors, designers/artists and hacktivists who relate human ecosystems and city life in the age of communication, information and knowledge.

Starting from the frequent use of scientific approaches and practices also linked to 'speculative design', the action-research activities have materialised in many different, innovative projects investigating the complex relationships between art, design, the infosphere thought and computational agents (AI algorithms, IOT, etc.), open source, cities and territories, citizens and communities. This is exactly what Manzini (2021, p. 20) says about social innovation, i.e. «[...] when someone solves a problem and opens up new possibilities, by changing the socially established way of doing things».

Concerning the themes and issues presented, the experience connected to the IAQOS (Intelligenza Artificiale di Quartiere Open Source – Open Source Neighbourhood Artificial Intelligence) project (Iaconesi and Persico, 2021b) is particularly interesting and highly innovative – also for its cultural implications and possible new future developments in design research. Funded by MIBACT as part of the PeriferIA Intelligente project to experiment with an urban regeneration process using AI and big data, IAQOS is a community-based AI project connected to the multicultural ecosystem of the Torpignattara neighbourhood in Rome.

It is a project that combines technology and social innovation to activate, with an art/design-driven approach, relational processes between community, city and data. The main objective is to understand the functioning of AI and its subsequent innovative use aimed at realising ethical and participatory projects that can respond to significant global challenges and have essential spin-offs for the communities that generated them. This is a key, radical turnaround – Iaconesi and Persico (2021a) speak of a 'turnaround economy' – in which an AI created and trained by a community (the neighbourhood) between 2019 and 2020 transforms data into valuable knowledge for understanding and solving the problems of that specific territorial context, helping citizens to improve their quality of life starting from the characteristics of the neighbourhood itself.

Unlike most Artificial Intelligence, IAQOS does not act in an 'extractive' and 'militarised' way (Iaconesi and Persico, 2021a)⁴, accumulating data in order to profile people and direct their behaviour; instead, it acts relationally, connecting people so

that they can become actors of social transformation (Fig. 2-7). Angel_F, a daughter of the neighbourhood, is her elder sister (Iaconesi and Persico, 2009), that was given birth by a 'queer neighbourhood family' that lives in the 'proximity' of the street, forging relationships with the inhabitants who actively participate in her conception, in her birth party (in a neighbourhood bar), in her education; they take care of her, as in the Manzanian city of 'proximity' and 'care' (Manzini, 2021).

We are confronted with a possible new alliance between humans and non-humans (AI, organisations, plants, rivers, oceans) who find in data and new hybrid habitats a common heritage in which it is possible to unite and establish unprecedented forms of relationship and social imagination. An original approach, a radical breakthrough that allows us to experience multiple transcultural and transgenerational opportunities, new non-'extractive' models and new concepts of social ritual, new community models for new habitats: the roots of a New Dwelling. Small fragments of a new, more prominent 'human project'.

However, will it be the right path? Will the utopian momentum of such visions and projects succeed in having a global reach? Will open-source, peer-to-peer, and hacktivist approaches, together with bottom-up communitarian dynamics, succeed in winning the challenge in the complicated (and perhaps unequal) struggle against the arrogance of information capitalism? According to some scholars, this will be very difficult since we have been living since our infancy within a dangerous condition of progressive loss and atrophy of our analogue capacities of intelligence and critical thinking (Spitzer, 2013), a sort of digital Alzheimer that dangerously exposes us to the seductive and convenient proposals of enticing services 'offered' by large multinationals that, through big data, know everything about us, our private lives, our purchasing preferences, our consumption, our wealth, our political and cultural ideas.

As De Kerckhove reminds us, we live in the time of the 'soft tyranny' of 'datacracy' (De Kerckhove and Ciccarese, 2022), of 'surveillance capitalism' (Zuboff, 2019), of deep fakes and the arrogance of algorithms, imprisoned, as we are, within filter bubbles and echo chambers. A dangerous information ecosystem that, by condemning us more and more to the exclusive condition of consumers – and not, as Floridi suggests, of consumers-constructors-conscious producers of information – can profoundly affect the choices of individuals and communities, altering, in some cases heavily, their democratic processes.

Energy, plastic bottles and PVC pipes | Access to energy is a primary need for every individual and every social organisation (Butera, 2014). However, the fulfilment of this need is not always guaranteed in an increasingly globalised world. Social conflicts and wars, rising global temperatures and increasingly frequent catastrophic weather events due to climate change combined with air, land and groundwater pollution due to intense human activity make the production and distribution of food and energy increasingly complex and costly. The latest FAO report shows that in 2020, almost one in three people in the world (2.37 billion) lacked access to adequate food, an increase of almost 320 million in a single year, and almost 60 per

cent of Africa's population is moderately or severely food insecure (FAO et alii, 2021). While according to data compiled by the research team led by Hannah Ritchie (Ritchie, Roser and Rosado, 2020), about 1 billion people lack access to electricity in a context where the average person in the most industrialised countries consumes up to 100 times more than the average person in some of the poorest countries.

Figures 8 and 9 show how Central Africa and Southeast Asia are the geographical areas that suffer the most from scarcity of food resources and access to electricity for a combination of historical, environmental and political reasons (Alkon and Agyeman, 2011; Jenkins et alii, 2016). These populations, already plentifully deprived, will inevitably be even more adversely affected by the social and economic effects of global events such as the Covid-19 pandemic crisis, the aftermath of the war between Russia (among the world's most energy-producing countries) and Ukraine (among the world's most wheat-producing countries) and the increasingly pressing climate emergency.

As mentioned in the introductory section, initiatives are multiplying worldwide to address, at all latitudes, the challenge of social, economic and environmental transformation (Manzini, 2015) involving new models of sustainable production and consumption within defined social and environmental boundaries (Raworth, 2017). In this context, new solutions such as vertical farming⁵ or new technologies such as biophotovoltaic panels (McCormick et alii, 2015), are starting to attract more and more investment and attention from the market⁶. However, the transfer of such innovations to the most energy-emergent contexts, due to the high economic and social barriers they are confined to, is often only for experimental purposes or, even worse, advertising.

Precisely in order to circumvent these barriers, new principles in the field of innovation have been affirmed in recent years (Björgvinsson, Ehn and Hillgren, 2010), which envisage the intersection of design for social innovation (Murray, Caulier-Grice and Mulgan, 2010) and sustainable design (Tamborini, 2009). An approach that could be defined as 'lean' (Di Dio, 2018) or frugal according to Navi Radjou's definition (Radjou, Prabhu and Ahuja, 2012), and that in the design world finds exhaustive treatment in Luigi Bistagnino's (2009) work on Systemic Design.

Of the many projects inspired by these principles, the experience of Liter of Light (Fig. 10) is undoubtedly among the most significant. It uses cheap and readily available materials to provide high-quality lighting for homes in poor communities, especially in Asia and Africa. Readily available plastic bottles are recycled, filled with water and a little bleach, and inserted into the roof to provide daylighting. They can be upgraded with an LED bulb, micro-solar panels and a battery to provide a low-cost lighting system (Bansod and Wandile, 2015). The use of plastic bottles for interior lighting using sunlight, developed by Brazilian Alfredo Moser in 2002, is thus the basis of Illac Diaz's project, which, through the MyShelter Foundation, launched Liter of Light in the Philippines in 2011 in collaboration with students from the Massachusetts Institute of Technology and Alfredo Moser.

To make the project scalable even in the most challenging environments on the planet, the prod-

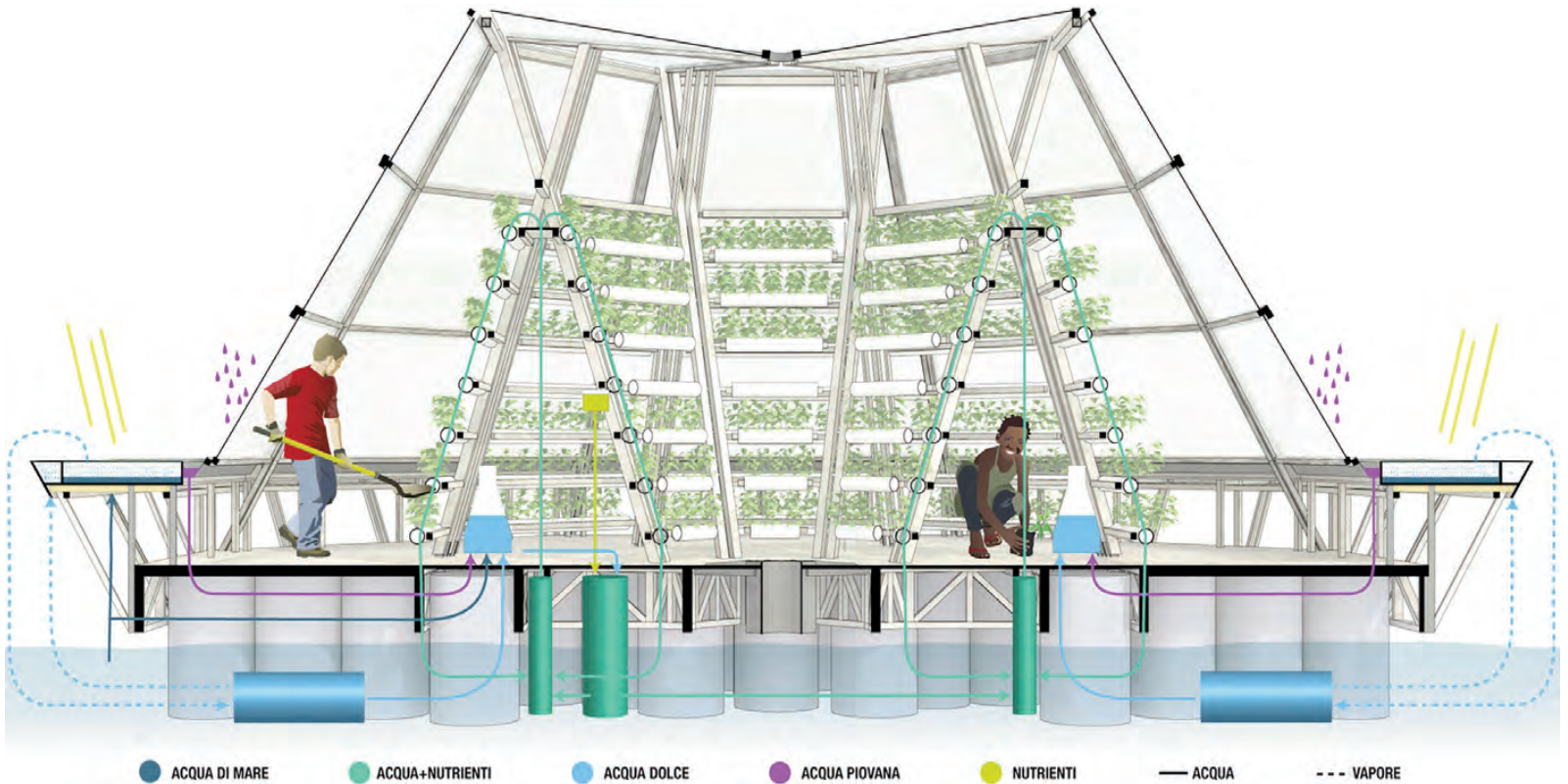


Fig. 13 | Jellyfish Barge, designed by Stefano Mancuso: floating greenhouse capable of producing food for two families (source: archweb.com, 2019).

uct was open-sourced to be easily replicated and improved by anyone around the world. Liter of Light offers basic carpentry and electronics training to locals, who can earn a small income for their work. Thus, through an open-source product and a generative social project (Banathy, 2013) based on the transmission of skills and the start-up of small cooperatives of electricians, data reported by the organisation⁷ reveal that to date, more than 50,000 people have been trained, some 800,000 light bulbs have been installed in more than thirty countries, and more than 2.5 million people have been illuminated.

With the same frugal, open-source and generative approach, Glocal Impact Network (GIN), the Italian Liter of Light team, through a collaboration with the University of Padua, has developed the Agritube project, a system for above-ground hydroponic agriculture that is also accessible to those with physical disabilities. It is made of PVC pipes and sensor technology developed with open-source licenses (Fig. 11). The field of application is, therefore, agriculture in conditions of extreme water scarcity, where the soil is not fertile, is polluted or is too dry. According to data reported by GIN⁸, almost 10,000 plants have been produced, and more than 30 hydroponics systems have been installed in 4 African countries since 2018.

These results are certainly promising but still too insignificant when compared to the numbers recorded by the work of Ritchie and the FAO. However, while the figures recorded by Agritube still do not allow for impact simulations in the medium and long term, in the case of Liter of Light at this rate, it would not take 400 years to bring light to the one billion people currently living in energy poverty. This consideration only highlights how, although the approach is ideal in line with what has been theorised and has been recog-

nised as being at the forefront of design for social innovation⁹, its limitation is its practical effectiveness compared to the size and urgency of the problem addressed.

The model adopted presents as necessary some very complex steps such as the fundraising of the individual initiative (through public funds and private donations), the procurement of the electronic components (where necessary), the training of the workers, the installation of the equipment and the start-up of the local businesses. Each of these steps can take several months, and these times obviously tend to be longer in those areas with particularly complex social and economic conditions. Therefore, for Liter of Light, Agritube and many similar projects that apply the design principles mentioned above, the challenge to finally make a significant impact lies in streamlining every single operational step, reducing costs and lead times (Westley and Antadze, 2010).

What will we eat to save the world? | In 2023, there will be 8 billion of us¹⁰. As we can no longer continue to exploit our remaining resources, we will have to change our diet and the way we produce food. If it takes up to fifteen thousand litres of water to produce one kilo of meat and it only takes a couple of euros to buy a hamburger, there is something wrong with the system. In recent years, a change has been occurring that can be summed up as the need to change how we eat and produce food. Food is a common good: food means relationships, not just nourishment and consumption; food means connection to a place, solidarity between generations and welcoming different cultures (Thackara, 2017). In the last 20 years, researchers and scholars, thanks to the approach of different disciplines, from medicine to cosmology, from marine biology to the most

advanced genetics, from agriculture to meteorology, have begun to imagine a different future: meat grown in laboratories, regeneration of the sea and destroyed ecosystems, and vegetable gardens and underwater forests capable of producing good, sustainable and food (Codignola, 2020). So, what is the role of design in this?

Although the term 'design' instinctively makes us think of something refined, refined and attractive, in reality, as philosopher Bruno Latour (2021) explains, product or communication design is not a random invention generated by pure creativity but is always born with a purpose. Design in English means to plan, and an accurate design project is always aimed at a new function of the object, at a new meaning of the object and never exclusively at the pursuit of beauty and of luxury: design is not hedonistic research (Ruggeri, 2021). Bruno Munari (1981) reminds us that the design problem stems from a need. Consistently, the world of food design today has new challenges to face that concern how to design food and produce it. Making food with high nutritional properties and distinctive organoleptic characteristics is no longer enough.

The Green Deal¹¹ and the Farm to Fork strategy¹² invite us to the new paradigm of global sustainability of production: reduction of greenhouse gas emissions, reduction of water consumption and restoration of biodiversity. New local and human-scale activities (social agriculture) are the natural alternative to the industrial food system (Thackara, 2017). All these actions should ensure food security, nutritional security and public health (Ritota et alii, 2021). Within this framework, 'cultured meat' – an animal meat product originating from stem cells – is of strategic importance (Fig. 12). Over the past 10 years, several research projects have succeeded in producing

meat in the laboratory. The first hamburger was produced in 2013.

In this regard, such food is preferable both from an ethical point of view, as it does not require killing animals, and from an economic point of view, as it drastically reduces the meat industry's environmental impact of the meat industry¹³. However, the potential benefits of cultured meat remain a contentious issue, not only because of the high cost but also because of the convergence of contextual interests such as the commodification of genetic engineering and the enormous investments of Silicon Valley millionaires whose ethics reduce everything to economic issues without significant social utility (Luneau, 2021). Indeed, a scenario that would provide a fair balance between the Mediterranean food model and the consumption of cultured meat (once the real benefits are confirmed) would be desirable. After all: «We shall escape the absurdity of growing a whole chicken to eat the breast or wing by growing these parts separately under a suitable medium» (Churchill, 1931, p. 66).

Another solution projected towards social innovation is the 'floating greenhouse', designed by Stefano Mancuso, capable of producing food for two families. This is the Jellyfish Barge, also known as the Jellyfish, a project that can guarantee water and food security by providing drinking water and food without burdening existing resources. It consists of a glass greenhouse with a wooden base and is supported by 96 recycled plastic drums (Fig. 13). It uses rain, sea or river water that is desalinated or purified and for irrigation. Thanks to its modularity, the octagonal shape makes it possible to increase the number of crops and create spaces for socialising. The project would need new funding to reach industrial production (Codignola, 2020), but unfortunately, in our country, investors struggle to recognise the potential of such innovative projects.¹⁴

It is also possible to focus on 'underwater greenhouses', such as Nemo's Garden, which consists of biosphere capsules in which more than 40 terrestrial plants grow. It was conceived by Sergio Gamberini, engineer and founder of Ocean Reef Group. Today, innovative solutions and proposals are needed because traditional agriculture contributes significantly to climate change, and we can only cultivate 11% of the planet's surface area. Biospheres function thanks to the temperature difference between the air inside and the seawater around it: the water at the bottom of the capsule evaporates and condenses on the inner surfaces. The microclimate and thermal conditions inside the biospheres are optimal for growing plants without additional energy sources (Fig. 14).

Nemo's Garden is also an artificial reef in its own right: it is rich in species that use the biospheres as shelter, contributing to the food chain. Although the results are of considerable interest, it doesn't seem very easy to imagine that such a system could be used in the short term and on a large scale: while large multinationals are already bidding to buy patents (Codignola, 2020), the time still seems far off when we will be able to have biospheres in every kitchen in domestic format, capable of providing us with fresh vegetables every day.¹⁵

Food design is an area of design that is still little explored and linked to improving the hedonistic characteristics of food (aesthetics, taste, flavour). There is, therefore, a need to overturn this idea in order to promote the concept of food design (from production to consumption) from the perspective of social innovation, which leads towards the search for new, more efficient and sustainable solutions capable of responding to new social, territorial and educational needs. The game will be played on knowledge and awareness of the crucial issues concerning food sustainability: the food of the future will have to be mainly 'sustainable'.

Moreover, once again innovation is the activity of the WASP group that, with the Feel the Peel¹⁶ project, allows us to drink orange juice from a cup made of orange peel: to make the cups, natural components are heated and melted in recyclable bioplastic, generating a virtuous cycle of a circular economy. The purpose is not aesthetic only, but it is also functional to the taste, as it allows for countless variations, shapes and textures. The use of 3D printing also guarantees compliance with precise food safety standards, especially in the case of intolerances. Finally, another essential aspect is the possibility of reducing waste to zero or almost zero: thanks to 3D printing, everything is prepared at the right time and in the right quantities. The same rule applies to building a house as to preparing a dish: there is no need to rely on large quantities of raw materials but on careful planning to use only the bare essentials.

Concluding remarks | If innovation, whichever way one looks at it, must result in substantial social effects and benefits for as many people as possible, a thesis supported by the authors, how will we achieve this ambitious result? This is a global issue, with visible evidence before every-

one's eyes. It is no coincidence that the watchwords of the New European Bauhaus Prize 2022 are sustainability, aesthetics and (social) inclusion (Scalisi and Ness, 2022). It is no coincidence that the European Community has recently relaunched the Bauhaus¹⁷ by noting the social foundations of the project. Similarly, 'zero poverty', 'quality education', 'gender equality', 'decent work and economic growth', 'reducing inequalities', 'sustainable cities and communities', 'responsible consumption and production', 'peace, justice and strong institutions' are among the 17 points for the concrete implementation of the Sustainable Development Goals of the UN Agenda 2030 (UN, 2015). One could then conclude: there is no true sustainability without techno-social innovation. However, as we have seen, although many interesting and forward-looking actions and projects are underway today, there is no peaceful recipe, let alone a safe one.

The stakes are very high, and the goal, albeit a noble one, of building a just and democratic society in which people are at the centre of technological progress is a fundamental challenge that must be tackled with great determination. The technocratic utopia, starting from aspirations to improve human life, has turned into an anti-humanist dystopia. Today, the challenge of overcoming the complex criticalities of the digital transition is an open ground for innovative and original solutions, such as those of Iaconesi and Persico. It will be necessary, however, to continuously verify their feasibility in political, economic, educational, social and scale of intervention terms, to try to move them from an admittedly avant-garde dimension to a more structured and systemic one.

On the other hand, although the path to be followed is the one indicated by Manzini, i.e. the one hinging on virtuous projects that start from



Fig. 14 | Nemo's Garden, designed by Sergio Gamberini: an underwater greenhouse for growing terrestrial vegetable crops on the seabed (source: nemosgarden.com, 2022).

the bottom, aimed at vivifying the development of hybrid, open source and very well-informed local communities that concretely collaborate where they are to improve society. We have serious doubts about its true scalability and impact because such projects clash with the very economic model on which our economy is based. Indeed, as we have pointed out, the resources needed to develop projects like Liter of Light come from international cooperation funds and donations collected in the economies of globalised countries. If, on the one hand, the non-profit, open source and open-hardware model guarantees maximum accessibility by removing every possible barrier, on the other hand, without being able to exploit intellectual property, there are no royalties that can generate profits. Therefore, no venture capitalists are willing to invest for faster growth.

Thus, it seems that the adopted model can only be supported by public investment (Grimm et alii, 2013) or by specific funds that mix public and private capital (Tekula and Shah, 2016). Nevertheless, even in the case of public policy or impact investing, performance indicators are often not only limited to social or environmental impact but also to metrics that are often openly contradictory to the nature of the project (Vanderhoven

et alii, 2020), trying to escape the maxim attributed to Buckminster Fuller: «You have to decide whether you want to make money or make sense because the two are mutually exclusive». One could therefore conclude by arguing that until the economic model of globalised countries is fully transformed into a regenerative and re-distributive one (Raworth, 2017), ambitious social innovation projects such as Liter of Light can never fully realise their potential.

Nonetheless, today as yesterday, our chance to thrive as a species – coping with the enormous environmental damage that we have cheerfully produced in the space of two centuries – depends on the ability to network, i.e. to collaborate, by sharing precisely all the knowledge that science can make available today (open source). How, then, will the new model enable us to implement innovative and socially relevant solutions? Is Morretti's idea of putting the knowledge needed for the production of housing, food and energy in the hands of everyone in a logic of harmonious sharing, for example, scalable? Will 'printed meat', if it will ever be asserted, be able to be cultivated by everyone, or will there be the copyright of a multinational corporation that keeps the status quo intact in a turbo-capitalist direction?

What is certain is that the current system reveals its flaws every day. Resources, food and space are running out. If we do not want a world in which we survive in increasingly critical conditions by using force, assuming anyone can actually 'win', we will have to come together, share as much knowledge as possible (technical innovation) and collaborate to realise new common goals. This is where design – which has always been a mediator between 'knowledge' and 'needs' (Celaschi, 2008) – must play its part: in the dissemination of knowledge (science) by participating in a virtuous, systemic and collaborative process that produces a new type of innovation: techno-social innovation.

Acknowledgements

This paper is the result of the authors' reflection. Nevertheless, the introductory paragraph and 'From practice to theory, and vice versa' have to be attributed to D. Russo, 'A postmodern metaproject, from the city of proximity and care to the new dwelling: the IAQOS case study' to F. Monterosso, 'Energy, plastic bottles and PVC pipes' to S. Di Dio and 'What will we eat to save the world?' to B. Inzerillo.

Notes

1) For more information on Seoul, the city of the '10 minutes', see: weforum.org/videos/24681-10-minute-city-planned-for-Seoul-south-Korea-in-2024#:~:text=The%20new%20125%2Dacre%20development,two%20for%20completion%20in%202024 [Accessed 20 April 2022].

2) Taken from Brecht (1938-39), 'Leben des Galilei', scene 13.

3) Julian Nida-Rümelin is one of Germany's best-known philosophers and intellectuals. A former Minister of Culture and Professor of Philosophy and Political Science at the University of Munich, he has worked on the theory of rationality, theoretical and applied ethics and, above all, on the relationship between philosophy and information and digital technologies.

4) The reference here is to digital platforms and algorithms that play physically and psychologically with our world and our thinking, to make us consume, to maximise this or that (Iaconesi and Persico, 2021a); an 'extractive' idea resulting from a 'militaristic' targeting and targeting action.

5) For more information, see: verticalfarmitalia.cloud/project/wasp-hortus/ [Accessed 12 September 2022].

6) For more information, see the webpage: theguardian.com/environment/2022/aug/21/the-rise-of-vertical-farms-could-indoor-plant-factories-be-the-norm-in-10-years [Accessed 12 September 2022].

7) For more information, see: literoflight.eu/ [Accessed 12 September 2022].

8) For more information, see the webpage: glocalimpact-network.com/agriculture-unit [Accessed 12 September 2022].

9) Liter of Light was awarded an Honourable Mention at the 2018 Compasso d'Oro, and Agritube was awarded an Honourable Mention at the 2020 Compasso d'Oro.

10) For more information, see: onuitalia.com/2022/07/11/population-5/ [Accessed 12 September 2022].

11) The Green Deal, or Green Pact, was presented by the European Commission on 11 December 2019 and summarised Europe's new growth strategy towards a green transition. For more information, see: ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en [Accessed 12 September 2022].

12) The Farm to Fork strategy is the 10-year plan developed by the European Commission to guide the transition to a fair, healthy and environmentally friendly food system. For more information, see: food.ec.europa.eu/horizontal-topics/farm-fork-strategy_en#info [Accessed 12 September 2022].

13) For more information, see the webpage: goodmeat.co/ [Accessed 12 September 2022].

14) For more information, please see the webpages: pnat.net/works/; linv.org/the-jellyfish-barge/ [Accessed 12 September 2022].

15) For more information, see the webpage: nemosgarden.co/ [Accessed 12 September 2022].

16) For more information, please see the webpage: carloratti.com/project/feel-the-peel/ [Accessed 12 September 2022].

17) For more information, see the webpage: new-european-bauhaus.europa.eu/index_en [Accessed 12 September 2022].

References

Alkon, A. H. and Agyeman, J. (eds) (2011), *Cultivating food justice – Race, class, and sustainability*, The MIT Press, Cambridge (MA). [Online] Available at: doi.org/10.7551/mitpress/8922.001.0001 [Accessed 12 October 2022].

Anders, G. (1980), *Die Antiquiertheit des Menschen – Über die Zerstörung des Lebens im Zeitalter der dritten industriellen Revolution*, vol. II, Verlag C.H. Beck, München.

Banathy, B. H. (2013), *Designing social systems in a changing world*, Springer Science & Business Media, New York. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-1-4757-9981-1 [Accessed 12 October 2022].

Bansod, V. R. and Wandile, A. A. (2015), "Study on Solar Water Bulb-a Liter of Light", in *International Journal for Innovative Research in Science & Technology*, vol. 1, issue 10, pp. 256-259. [Online] Available at: ijirst.org/articles/IIRSTV1110067.pdf [Accessed 12 October 2022].

Bistagnino, L. (2009), *Design sistemico – Progettare la sostenibilità produttiva e ambientale*, Slow Food Editore, Torino.

Björgvinsson, E., Ehn, P. and Hillgren, P.-A. (2010), "Participatory design and democratizing innovation", in *PDC '10 – Proceedings of the 11th Biennial Participatory Design Conference*, Association for Computing Machinery, New York, pp. 41-50. [Online] Available at: doi.org/10.1145/1900441.1900448 [Accessed 12 October 2022].

Butera, F. M. (2014), *Dalla caverna alla casa ecologica – Storia del comfort e dell'energia*, Edizioni Ambiente, Milano.

Celaschi, F. (2008), "Il design come mediatore tra saperi – L'integrazione delle conoscenze nella formazione del designer contemporaneo | Design as Mediation Between Areas of Knowledge – The integration of knowledge in the training of contemporary designer", in Germak, C. (ed.), *L'Uomo al Centro del Progetto – Design per un nuovo umanesimo | Man at the Centre of the Project – Design for a New Humanism*, Allemandi, Torino, pp. 19-31. [Online] Available at: documen.site/download/uomo-al-centro-del-progetto-design-per-un-nuovo-pdf [Accessed 12 October 2022].

Churchill, W. (1931), "Fifty Years Hence", in *The Strand Magazine*, p. 66. [Online] Available at: archive.macleans.ca/article/1931/11/15/fifty-years-hence [Accessed 12 October 2022].

Codignola, A. (2020), *Il destino del cibo – Così mangia-*

remo per salvare il mondo, Feltrinelli, Milano.

De Kerckhove, D. and Ciccarese, D. (2022). *Siamo uomini o digitali?*, Castelvecchi, Roma.

Di Dio, S. (2018), *From smart to lean – How to design for better cities, happier citizens and save the world*, Altralinea Edizioni, Firenze.

FAO, IFAD, UNICEF, WFP and WHO (2021), *The State of Food Security and Nutrition in the World – Transforming food systems for food security, improved nutrition and affordable healthy diets for all*, FAO, Rome. [Online] Available at: doi.org/10.4060/cb4474en [Accessed 12 October 2022].

Floridi, L. (2020a), *Pensare l'Infosfera – La filosofia come design concettuale*, Raffaello Cortina, Milano.

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

Flusser, V. (2003), *Filosofia del design*, Mondadori, Milano.

Galimberti, U. (1999), *Psiche e Techne – L'uomo nell'età della tecnica*, Feltrinelli, Milano.

Heidegger, M. (1959), *Gelassenheit*, Pfullingen, Verlag Günther Neske.

Grimm, R., Fox, C., Baines, S. and Albertson, K. (2013), “Social innovation, an answer to contemporary societal challenges? Locating the concept in theory and practice”, in *Innovation | The European Journal of Social Science Research*, vol. 26, issue 4, pp. 436-455. [Online] Available at: doi.org/10.1080/13511610.2013.848163 [Accessed 12 October 2022].

Iaconesi, S. and Persico, O. (2021a), *Incuria – Una lettera d'amore per Roma*, Luca Sossella, Bologna.

Iaconesi, S. and Persico, O. (2021b), “When my child is AI – Learning and experiencing through AI outside the school – The experiences of a community AI”, in *QTimes | Journal of Education*, anno XIII, n. 1, pp. 174-192. [Online] Available at: qtimes.it/?p=file&d=202102&id=iaconesi-persico_1_2021_qtimes-jetss.pdf [Accessed 12 October 2022].

Iaconesi, S. and Persico, O. (2016), *Digital Urban Acupuncture – Human Ecosystems and the Life of Cities in the Age of Communication, Information and Knowledge*, Springer, Berlino. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-319-43403-2 [Accessed 12 October 2022].

Iaconesi, S. and Persico, O. (2009), *Angel_F – Diario di una Intelligenza Artificiale*, Alberto Castelvecchi, Roma. [Online] Available at: angel-f.it/angel-f-blog/wp-content/uploads/2010/01/angel_f.pdf [Accessed 12 October 2022].

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 12 October 2022].

Kohlstedt, K. (2016), “Renderings vs reality – The improbable rise of tree-covered skyscrapers”, in *99% Invisible City*, 04/11/2016. [Online] Available at: 99percentinvisible.org/article/renderings-vs-reality-rise-tree-covered-skyscrapers/ [Accessed 12 October 2022].

Latour, B. (2021), *Politiche del design – Semiotica degli artefatti e forme della socialità*, Mimesis, Milano-Udine.

Luneau, G. (2020), *Carne artificiale? No, grazie – La prima grande inchiesta sulle lobby del cibo in provetta*, Castelvecchi, Roma.

Manzini, E. (2021), *Abitare la prossimità – Idee per la città dei 15 minuti*, Egea, Milano.

Manzini, E. (2018), *Politiche del quotidiano*, Edizioni di Comunità, Roma.

Manzini, E. (2015), *When Everybody Designs – An Introduction to Design for Social Innovation*, The MIT Press, Cambridge (MA).

Mari, E. (2011), *25 modi per piantare un chiodo – Sessant'anni di idee e progetti per difendere un sogno*, Mondadori, Milano.

Mari, E. (1974), *Autoprogettazione?*, Edizioni Corraini, Mantova.

McCormick, A. J., Bombelli, P., Bradley, R. W., Thorne, R., Wenzel, T. and Howe, C. J. (2015), “Biophotovoltaics – Oxygenic photosynthetic organisms in the world of bioelec-

trochemical systems”, in *Energy & Environmental Science*, vol. 8, issue 4, pp. 1092-1109. [Online] Available at: doi.org/10.1039/c4ee03875d [Accessed 12 October 2022].

Moreno, C. (2020), *Projet Portes de Paris – Ville du Quart d'Heure Territoire de la Demi-Heure – Transitions Urbaines et Territoriales*, Livre Blanc. [Online] Available at: chaire-eti.org/wp-content/uploads/2019/12/Livre-Blanc-2019.pdf [Accessed 12 October 2022].

Moretti, M., Chiusoli, A., Nardoni, L., De Fabritiis, F. and Visonà, M. (2021), “Earthen 3D printed constructions towards a new high-efficient way of building”, in Luvidi, L., Fratini F., Rescic, S. and Zhang, J. (eds), *Past and Present of the Earthen Architectures in China and Italy*, CNR Edizioni, Roma, pp. 147-156. [Online] Available at: ispc.cnr.it/wp-content/uploads/2021/10/Libro_CNR-CACH_Vol_4_2021_s.pdf [Accessed 12 October 2022].

Munari, B. (1981), *Da cosa nasce cosa*, Laterza, Roma.

Murray, R., Caulier G. J. and Mulgan, G. (2010), *The open book of social innovation*, Young Foundation, Nesta, London. [Online] Available at: youngfoundation.org/wp-content/uploads/2012/10/The-Open-Book-of-Social-Innovation.pdf [Accessed 12 October 2022].

Nida-Rümelin, J. and Weidenfeld, N. (2019), *Umanesimo Digitale – Un'etica per l'epoca dell'Intelligenza Artificiale*, FrancoAngeli, Milano.

Pais, I. (2021), “Futuro prossimo – Città della prossimità e piattaforme digitali”, in Manzini, E., *Abitare la prossimità – Idee per la città dei 15 minuti*, Egea, Milano, pp. 151-178.

Radjou, N., Prabhu, J. and Ahuja, S. (2012), *Jugaad innovation – Think frugal, be flexible, generate breakthrough growth*, John Wiley & Sons.

Raworth, K. (2017), *Doughnut economics – Seven ways to think like a 21st-century economist*, Chelsea Green Publishing, London.

Ritchie, H., Roser, M. and Rosado, P. (2020), “Energy”, in *OurWorldInData.org*. [Online] Available at: ourworldindata.org/energy [Accessed 12 October 2022].

Ritota, M., Amoriello, T., Baiamonte, I., Nardo, N., Narducci, V., Turfani, V., Fabbri, I. and Ruggeri, S. (2021), “Food design e sostenibilità alimentare: quanto ne sappiamo?”, in Ruggeri, S., Amoriello, T., Baiamonte, I., Nardo, N., Ritota, M., Narducci, V. and Turfani, V. (eds), *Atti del I Convegno Nazionale – Italian Food Design – Ridisegnare il cibo italiano in un'ottica di sostenibilità – 13 Dicembre 2021*, Centro di Ricerca Alimenti e Nutrizione, Roma, pp. 35-45. [Online] Available at: crea.gov.it/documents/59764/0/Food+design_Atti_ConvegnoFinale_.pdf/294de170-7f5d-cea4-0fba-9809ab9d617e?version=1.0&t=1653975748059&download=true [Accessed 12 October 2022].

Ruggeri, S. (2021), “Sustainable Food Design – Percorsi di sostenibilità verso la transizione ecologica”, in Ruggeri, S., Amoriello, T., Baiamonte, I., Nardo, N., Ritota, M., Narducci, V. and Turfani, V. (eds), *Atti del I Convegno Nazionale – Italian Food Design – Ridisegnare il cibo italiano in un'ottica di sostenibilità – 13 Dicembre 2021*, Centro di Ricerca Alimenti e Nutrizione, Roma, pp. 9-13. [Online] Available at: crea.gov.it/documents/59764/0/Food+design_Atti_ConvegnoFinale_.pdf/294de170-7f5d-cea4-0fba-9809ab9d617e?version=1.0&t=1653975748059&download=true [Accessed 12 October 2022].

Russo, D. (2015), “La stampa 3D come Iperartigianato – Utopia tecno | eco | logica per la configurazione di un mondo migliore”, in MDA (ed.), *Environmental Design – 1st International Conference on Environmental Design*, De Lettera, Milano, pp. 95-106.

Russo, D. and Moretti, M. (2020), “Shamballa, il Paradiso può attendere – Come la stampa 3D sostiene il futuro | Sambhala, Heaven can wait – How 3D printing will sustain the future”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 8, pp. 32-43. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/832020 [Accessed 12 October 2022].

Spitzer, M. (2013), *Demenza digitale – Come la nuova tecnologia ci rende stupidi*, Corbaccio, Milano.

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, sys-

tems, 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 October 2022].

Sposito, C. and Scalisi, F. (2017), “Strumenti e materiali per la fabbricazione digitale in architettura | Instruments and materials for digital manufacturing in architecture”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 1, pp. 143-151. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1222017 [Accessed 12 October 2022].

Tamborrini, P. (2009), *Design sostenibile – Oggetti, sistemi e comportamenti*, Electa, Milano.

Tekula, R. and Shah, A. (2016), “Impact investing – Funding social innovation”, in Lehner, O. M. (ed.), *Routledge handbook of social and sustainable finance*, Routledge, London, pp. 125-136.

Thackara, J. (2017), *Progettare oggi il mondo di domani – Ambiente, economia e sostenibilità*, Postmedia books, Milano.

UN – General Assembly (2015), *Transforming our world – The 2030 Agenda for Sustainable Development*, document A/RES/70/1. [Online] Available at: un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E [Accessed 12 October 2022].

Vanderhoven, E., Steiner, A., Teasdale, S. and Calo, F. (2020), “Can public venture capital support sustainability in the social economy? Evidence from a social innovation fund”, in *Journal of Business Venturing Insights*, vol. 13, e00166, pp. 1-6. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jbvi.2020.e00166 [Accessed 12 October 2022].

Watson, T. (1974), “Good Design is Good Business”, in Schutte T. F. (ed.), *The Art of Management: Design in American Business*, Tiffany & Co., New York, pp. 57-79.

Westley, F. and Antadze, N. (2010), “Making a difference – Strategies for scaling social innovation for greater impact”, in *Innovation Journal*, vol. 15, issue 2, article 2, pp. 1-19. [Online] Available at: innovation.cc/scholarly-style/2010_15_2_2_westley-antadze_social-innovate.pdf [Accessed 12 October 2022].

Wingler, H. M. (1969), *The Bauhaus – An idea, an institution and a magnificent book*, The MIT Press, Cambridge, pp. 31-33.

Zuboff, S. (2019), *Il capitalismo della sorveglianza – Il futuro dell'umanità nell'era dei nuovi poteri*, LUISS University Press, Roma.

BEYOND PERSONAS

Il Machine Learning per personalizzare il progetto

BEYOND PERSONAS

Machine Learning to personalise the project

Niccolò Casiddu, Francesco Burlando, Isabella Nevoso,
Claudia Porfirione, Annapaola Vacanti

ABSTRACT

Il paper esplora alcuni problemi legati a metodi dello Human-Centred Design (HCD), quali le Personas, attraverso cui i progettisti rischiano di produrre rappresentazioni distorte e stereotipate degli utenti. Tali modelli archetipici di 'umano' vengono messi in discussione a favore di un approccio basato sull'elaborazione dei dati, che risponde meglio alla necessità di progetti contestualizzati nella società iperconnessa. Il valore fondante di tale approccio risiede nella capacità di adattamento, basata su algoritmi in grado di adeguare il prodotto all'attività di ogni singolo utente. Queste considerazioni portano a bilanciare i grandi benefici riconosciuti ai metodi di progettazione HCD e la dovuta cautela verso l'introduzione di nuovi strumenti ancora in validazione. L'integrazione dei metodi HCD consolidati con le nuove possibilità offerte dalla datafication origina un processo di progettazione che integra i due aspetti.

The paper deals with some problems linked to Human-Centred Design (HCD) methods, namely Personas, that may mislead the designers to create distorted and stereotypical representations of users. These archetypal models of 'human' are questioned in favour of a data processing approach, that better responds to the needs of the projects contextualised in our hyperconnected society. The core value of this approach is the ability to adapt, based on algorithms capable of matching the product to the activity of each user. These considerations aim to balance the important benefits of the HCD design methods with necessary caution on the introduction of new tools still in verification. The integration of the well-established HCD methods with the new possibilities given by datafication originates a design process integrating the two aspects.

KEYWORDS

persone, design data-driven, design inclusivo, personalizzazione, datafication

personas, data-driven design, inclusive design, customisation, datafication

Niccolò Casiddu is a Full Professor and the Director of the Department of Architecture and Design at the Polytechnic School, University of Genoa (Italy). His research is aimed towards the accessibility and usability of environments and products, particularly focusing on technological innovation effects. E-mail: casiddu@unige.it

Francesco Burlando, Designer and PhD, is a Research Fellow at the Department of Architecture and Design, University of Genoa (Italy). His research is focused on the Post-Human Centred approach applied to robotics. E-mail: francesco.burlando@unige.it

Isabella Nevoso, Designer, is a PhD Candidate at the Department of Architecture and Design (DAD) at the University of Genoa (Italy). She carries out research mainly in the field of Post-Human Centred Design. E-mail: isabella.nevoso@edu.unige.it

Claudia Porfirione is a Researcher at the Department of Architecture and Design, University of Genoa (Italy). Her lessons and research are aimed towards accessibility and human-machine-environment interaction. E-mail: claudia.porfirione@unige.it

Annapaola Vacanti, Designer and PhD, is a Research Fellow at the Department of Architecture and Design, University of Genoa (Italy). She focuses her research on the study of Human-Technology interaction. E-mail: annapaola.vacanti@edu.unige.it



L'articolo di Anderson (2008) *The End of Theory* ha ottenuto grande visibilità e animato il dibattito accademico, dichiarando la sopravvenuta obsolescenza del metodo scientifico di fronte all'enorme quantità di informazioni disponibili e alla potenza di calcolo dei computer in grado di processare tali dati ed estrarne conoscenza. Sebbene queste opinioni provocatorie siano state ampiamente criticate (Priori, 2018), è innegabile che il fenomeno della datafication (Partadiredja, 2020) stia influenzando e radicalmente trasformando molti ambiti di ricerca: si stima che più del 98% delle informazioni prodotte dall'umanità risieda oggi in archivi digitali (Gambetta, 2018). Questo patrimonio rappresenta l'input attraverso cui i sistemi di Machine Learning (ML) e Intelligenza Artificiale (IA) fanno funzionare numerose tecnologie emergenti: interfacce vocali, computer vision, servizi predittivi, bot, realtà aumentata e virtuale, prodotti IoT. Tali sistemi creano una suggestione di intelligenza nell'interazione tra utenti e tecnologia, adattando la risposta di quest'ultima alla situazione e/o alla persona specifica (Clark, 2019).

Tuttavia, il crescente quantitativo di dati prodotti da attività online, dispositivi indossabili, sensori presenti negli ambienti e nei prodotti che ci circondano, rappresenta un potenziale progettuale ancora non totalmente compreso e valorizzato, sebbene queste tematiche siano oggetto di discussione nella comunità scientifica (King, Churchill and Tan, 2017). Sostenere, come Anderson (2008), che tutti i modelli siano stati resi obsoleti dalla quantità di dati che possono essere analizzati e correlati appare iperbolico. Nondimeno questa rivoluzione tecnologica impone un riesame degli approcci tradizionali nell'ottica di aggiornare la pratica progettuale affinché l'attività del designer mantenga la propria efficacia nello strutturare esperienze d'uso piacevoli, positive e utili.

Nello specifico il contributo propone una riflessione sull'efficacia dei modelli Human-Centred (HC) nel guidare la progettazione di prodotti e servizi tecnologici che popoleranno il nostro futuro. In particolare il metodo delle Personas (Roman, 2019), ampiamente riconosciuto e accreditato, può contribuire alla definizione di un target di utenza eccessivamente standardizzato (Emmanuel and Polito, 2022). Viene perciò proposta una comparazione tra il processo HCD, basato su tale modello, e quello più recente del design data-driven (King, Churchill and Tan, 2017).

Prendendo le mosse da una critica alle Personas fondata sull'identificazione di alcuni limiti nel riconoscere e valorizzare la variabilità delle caratteristiche personali degli utenti e la loro intersezionalità, il paper prosegue presentando vantaggi e criticità di modelli basati sulla profilazione degli utenti tramite i loro dati. In particolare si approfondiscono alcune problematiche legate all'applicazione di sistemi di ML e IA negli ambiti più svariati della società. In conclusione viene proposta una sintesi di opportunità e limiti sia degli strumenti classici della progettazione HCD sia degli innovativi approcci basati sulla datafication, fino a proporre una lettura dell'articolazione del processo progettuale, al fine di comprenderne e sfruttarne al massimo le potenzialità.

Personas: limiti e rischi | La tendenza progettuale di chiamare le persone 'utenti' rivela una sensibilità rivolta principalmente, se non unica-

mente, agli aspetti direttamente inerenti all'interazione persona-prodotto. Ciò porta spesso ad assunzioni erronee riguardo alla fruizione di un prodotto/servizio da parte del target di riferimento. L'interazione con la tecnologia non rappresenta un flusso monodirezionale da umano a macchina uguale per tutti (Subrahmanian, Reich and Krishnan, 2020); al contrario le persone assumono posizioni diverse nei riguardi di un artefatto, creando un ventaglio di relazioni complesse, influenzate dalle proprie caratteristiche personali, dal contesto ambientale e sociale e dalla rete di tecnologie connesse tra loro che fa da sfondo all'interazione (DiSalvo and Lukens, 2011).

È ormai consolidata la consapevolezza di quanta responsabilità investa i progettisti, in relazione a disuguaglianze nei riguardi di gruppi sociali marginalizzati, superando il comune malinteso di ritenere che l'80% dell'umanità si trovi nella parte centrale della 'curva normale', e che lavorare per il soggetto medio di quest'area risolva la maggior parte dei problemi progettuati, tralasciando coloro che, ricadendo al di fuori, sono considerati 'anomali' (Holmes, 2020). Spesso il numero di persone escluse, partendo dall'assunzione che le caratteristiche umane possano essere considerate in termini binari, è drammaticamente sottostimato. In realtà, le capacità sensoriali, cognitive e fisiche tendono a disporsi in uno spettro e possono variare nel corso della vita (Jenkins and Baker, 2019).

In questo contesto i metodi tradizionali di ricerca in design, compresi quelli di natura partecipativa, non sono sempre in grado di tenere conto delle esigenze specifiche delle categorie marginalizzate (Erete, Israni and Dillahunt, 2018). Il metodo delle Personas, nonostante il suo riconosciuto valore nel processo di sviluppo dell'empatia da parte del designer nei riguardi di bisogni e motivazioni dei propri utenti (Dharwada et alii, 2007), presenta diverse criticità che possono concorrere a renderlo inefficace o addirittura dannoso per il progetto.

Secondo la categorizzazione definita da Laubheimer (2020), le Personas possono essere prodotte secondo tre modalità differenti: le Proto Personas, descritte dal team senza condurre nuova ricerca; le Qualitative Personas, basate su ricerche qualitative condotte su un campione ridotto di utenti; le Statistical Personas, sviluppate sulla base degli output di ricerche estensive condotte con metodi principalmente quantitativi. Le Proto Personas sono evidentemente poco informative e rischiano di far ricadere le rappresentazioni degli utenti all'interno di stereotipi o ad alimentare i pregiudizi dei progettisti stessi (Laubheimer, 2020) che possono sfociare nella I-Methodology, definita da Akrich (1995) come la pratica progettuale in cui i designer considerano sé stessi e le proprie esperienze personali come una rappresentazione degli utenti. Tuttavia, anche le Qualitative Personas e le Statistical Personas possono essere poco accurate, dal momento che le prime si basano su un numero così esiguo di utenti da non potersi considerare significative, mentre le seconde forniscono scarsa comprensione delle motivazioni e della mentalità degli utenti, essendo delineate sulla base di dati quantitativi.

Oudshoorn, Rommes e Stienstra (2004) criticano fortemente alcuni casi studio volti alla progettazione di città virtuali, per il modo in cui i pro-

gettisti affrontano la profilazione degli utenti finali. De Digitale Stad (Fig. 1), la prima città digitale accessibile in Olanda, è stata progettata sulla base delle indicazioni dell'Amministrazione locale, che rappresentava il principale stakeholder. Tanto il Governatore locale quanto Marleen Stikker – che del progetto è stata ideatrice – avevano esplicitato la volontà di realizzare una città accessibile 'a chiunque' (van Bastelaer, 1998). Se tali dichiarazioni suggerivano grande attenzione verso le persone, al contrario un target così ampio ha portato a una scarsa considerazione dei criteri di semplicità d'uso durante le fasi progettuali. Resisi conto di queste problematiche, i progettisti abbandonano presto il concetto di Design for All, ricadendo, tuttavia, in nuovi errori.

Con l'obiettivo di identificare preferenze e necessità degli utenti attraverso il metodo delle Personas, i designer hanno finito per essere autoreferenziali, applicando inconsciamente l'I-methodology (Akrich, 1995). Ad esempio l'interfaccia era impostata in modo che l'utente dovesse capire come utilizzare il servizio attraverso un processo per tentativi ed errori. Intervistato in merito, Felipe Rodriguez (che ha curato il design della UI), ha dichiarato: «You have to keep things exciting; discovering is important. This has to do with the way in which I discovered the Internet and all its possibilities, [...] and that is fascinating. So you have to let people discover things; that's fun» (cit. in Oudshoorn, Rommes and Stienstra, 2004, p. 41).

Un altro esempio degli errori che si possono commettere in tal senso è stato presentato da Turner e Turner (2011). Nel loro studio i due ricercatori chiedono a 42 designer di sesso maschile di progettare un'app per iPhone per un pubblico femminile. Quasi tutti descrivono le Personas come ragazze ventenni di successo, molto impegnate, socialmente attive e attraenti. Quando a un gruppo analogo di 51 designer viene posto lo stesso brief senza specificare il genere degli end-user, le Personas proposte risultano essere quasi esclusivamente giovani uomini molto impegnati nel lavoro e socialmente attivi. Appare evidente come la realizzazione di Personas può portare facilmente a cadere nell'I-methodology o, qualora i progettisti si sforzino per comprendere un pubblico diverso da sé stessi, nella profilazione di una versione stereotipata (Nielsen et alii, 2006).

Una possibile soluzione a tali problematiche, proposta negli ultimi anni, consiste in team progettuati caratterizzati da una certa variabilità sociale. Benché differenze troppo marcate nel background dei componenti possano portare a sforzi eccessivi nel processo collaborativo, secondo Trischler i team caratterizzati da minima separazione, massima varietà e moderata disparità sono in grado di produrre i risultati più promettenti (Trischler, Kristensson and Scott, 2018). Nel frattempo l'evolversi delle tecnologie digitali – e la loro pervasiva implementazione all'interno di diversi ambiti della società – favorisce il superamento delle limitazioni pratiche che sono d'ostacolo all'adeguamento del progetto al suo utente. Prodotti e servizi che utilizzano tali opportunità mirano ad andare oltre al concetto di 'customizzazione', in favore di una vera e propria 'personalizzazione' (Zhang et alii, 2019), in modo che sia il progetto stesso a modificarsi autonomamente per incontrare le necessità specifiche dell'end-user.



Fig. 1 | An advertising image referred to the launch of the De Digitale Stad project (credit: Z. Moo, 1996).

Datafication: opportunità e criticità | Il fulcro della datafication è lo sviluppo di una capacità predittiva sempre più attendibile riguardo a tutte le dimensioni della vita degli utenti, incluse sfera privata, affettiva ed emotiva. Le predizioni si basano sull'estrazione di dati personali derivanti dall'attività di interazione con i sistemi digitali (Kaufman, 2021); tali dispositivi esistono oggi in numero notevolmente superiore a quello della popolazione, e non si prevede che questa tendenza possa invertirsi nel prossimo futuro. Gli algoritmi di ML, istruiti con tali dati, sono in grado di soddisfare le esigenze del singolo utente, addirittura prevedendo ciò di cui potrebbe avere bisogno o ciò che potrebbe trovare interessante in futuro. Se l'obiettivo dell'attività progettuale è quello di apportare modifiche desiderabili alla realtà (Maeda, 2022), gli strumenti della progettazione data-driven sembrano perfettamente coerenti con tale mission, permettendo ai progettisti di intervenire in modo capillare sull'esperienza di ogni singolo utente e modellando il suo contesto in modo da renderlo il più possibile privo di ostacoli, sicuro e piacevole.

Emblematico in questo senso è il caso della piattaforma di streaming musicale svedese Spotify, che pone la personalizzazione dell'esperienza al cuore della propria proposta; non a caso, Oskar Stål (2021) – senior leader del reparto personalizzazione – dichiara: «We may have a single platform with 381 million different users, but it may actually be more accurate to say there are 381 million individual versions of Spotify, each one filled with different homepages, playlists, and recommendations».

Gli algoritmi di Machine Learning di Spotify vengono istruiti con svariati dati, tra cui: cronologia dei brani ascoltati; creazione di playlist personali; interazione con la UI; momento della giornata; obiettivo della playlist (allenarsi, rilassarsi, ecc.); ascolto da mobile o da desktop. Tali informazioni non vengono utilizzate meramente per migliorare l'esperienza di ascolto a breve termine degli utenti, ma anche per aumentarne la soddisfazione a lungo termine, attraverso suggerimenti in grado di proporre una vera e propria 'dieta audio' equilibrata nei contenuti (Figg. 2-4). Questo tipo di modello, definito RL (Reinforcement Learning), risponde alla situazione attuale tentando di com-

prendere il grado di soddisfazione degli utenti e di prevedere quali brani potranno fare crescere l'apprezzamento del servizio in futuro.

Un altro caso virtuoso, seppur criticato da alcuni, è quello di Netflix, una delle più note piattaforme di distribuzione via Internet di film e serie tv. Mentre i suoi principali competitor sono inseriti all'interno di ecosistemi mediatici più ampi, il successo di Netflix si basa esclusivamente sulla sua capacità di attrarre e trattenere gli abbonati (Khoo, 2022). Il ruolo del ML nel tentativo di raggiungere questi obiettivi è centrale: l'azienda ha sviluppato quello che viene definito Netflix Recommender System (NRS), un termine cappello che si riferisce a una serie di strumenti computazionali proprietari in grado di offrire un'esperienza personalizzata a ciascun utente.

L'NRS sfrutta una combinazione di algoritmi di filtraggio basati sui contenuti e collaborativo: i primi raccomandano contenuti basandosi sull'esperienza passata dell'utente sulla piattaforma (cronologia di visione, interazione con la UI, durata della visione, etc.), mentre i secondi si basano su tendenze più ampie, riferite alle preferenze di altri utenti identificati come simili: queste 'comunità di gusto' scavalcano i limiti geografici, che inizialmente Netflix utilizzava per suggerire i propri contenuti (Pajkovic, 2021). Inoltre, per rendere più efficaci le raccomandazioni, è stato implementato un algoritmo di personalizzazione degli artwork (Figg. 5-7) con cui i prodotti audiovisivi vengono presentati nella pagina iniziale (Khoo, 2022). L'efficacia dell'artwork nell'attrarre ciascun utente è fondamentale per il successo della piattaforma, dal momento che le immagini promozionali rappresentano il principale fattore di influenza sulla scelta di cosa vedere per l'82% degli abbonati (Nelson, 2016).

Riassumendo, l'utilizzo dell'IA in campo progettuale sembrerebbe lo strumento idoneo per superare discrepanze di trattamento nei confronti di utenti appartenenti a categorie marginalizzate, secondo il principio per cui ciascun individuo merita la possibilità di fruire di prodotti e servizi che egli percepisca come realizzati per la sua unicità (Jean-Baptiste, 2020). Tuttavia, pur offrendo incontestabili opportunità al designer, la progressiva trasformazione di ogni aspetto della nostra vita

in dati porta con sé diverse sfide che devono essere affrontate per scongiurare il rischio di output non soddisfacenti (Partadiredja, 2020).

Alcuni critici sostengono che la capacità di agire degli algoritmi si stia sostituendo a quella degli esseri umani, sottoposti a previsioni matematiche che influenzano le loro scelte per scopi commerciali, sottraendo consapevolezza e trasparenza dal processo decisionale (Singh, 2020). Inoltre il processo di diffusione di prodotti e servizi dotati di IA nella vita delle persone non è omogeneamente distribuito: caratteristiche come l'età, le possibilità economiche e il contesto politico fanno la differenza nella relazione tra le persone e la tecnologia (Lupton, 2020). Ciò significa che i nostri algoritmi, per quanto non intenzionalmente programmati con volontà discriminatorie, fanno uso dei dati di una sola porzione della popolazione; di conseguenza essi rischiano di produrre output influenzati da pregiudizi, valori e stereotipi umani (Partadiredja, 2020).

Un fenomeno correlato è stato osservato proprio nel caso di Netflix: la piattaforma ha ricevuto pesanti critiche per i presunti sottintesi razziali legati alla scelta di artwork personalizzati che mostrano attori di etnia analoga a quella dell'utente, seppure essi abbiano ruoli marginali nel contenuto in questione (Khoo, 2022).

Un altro punto critico della progettazione data-driven è relativo al sentimento generale della società di massa nei riguardi della profilazione dell'utente, necessaria per la personalizzazione delle esperienze. L'opinione pubblica, influenzata negativamente da eventi come la diffusione di messaggi di phishing resi credibili sulla base delle informazioni contenute in profili social pubblici (Lupton, 2020), tende a vedere con occhio critico la richiesta di cedere il diritto di utilizzo dei dati. Questa legittima volontà di preservare la propria privacy, mantenendo l'anonimato, influisce sul corretto funzionamento dei sistemi progettati per la personalizzazione, mentre la definizione di policy chiare e uniformi a livello globale richiede tempi molto lunghi rispetto alla velocità di sviluppo delle nuove tecnologie.

Tale rapido sviluppo rappresenta una delle questioni più urgenti da affrontare nel prossimo futuro anche in relazione alla disponibilità di memoria in termini di spazio di archiviazione: negli ultimi anni quest'ultima non è cresciuta proporzionalmente all'aumentare della quantità di dati da immagazzinare. Mentre i nostri ambienti (fisici e virtuali) vengono plasmati e ridisegnati sempre più intensivamente dall'IA, deve far riflettere la necessità di adattare i nostri processi progettuali e i nostri approcci mentali a tale innovazione, per sfruttare il potenziale a nostro vantaggio, evitando un utilizzo cieco e inconsapevole.

Conclusioni | Il paper ha approfondito alcune problematiche che rendono obsoleti i metodi tradizionali di progettazione HC, discutendo l'opportunità di superarli attraverso sistemi data-driven in grado di personalizzare l'esperienza di ciascun fruitore. In prima battuta, sono stati evidenziati i vantaggi riconosciuti dell'uso delle Personas: aiutano i designer a empatizzare con gli utenti e capirne i bisogni; sono un metodo economico e tendenzialmente rapido; se usate con cautela, permettono di utilizzare stereotipi e nozioni di sapere comune a beneficio del progetto. D'altro canto, il

metodo delle Personas presenta diverse criticità: favoriscono il rischio di cadere in pregiudizi e stereotipi esistenti; sono spesso basate su campioni di utenza troppo ridotti per essere significativi; portano a soluzioni progettuali troppo omogenee per target di utenza diversificati; possono sfociare nell'impiego della I-Methodology.

Messi in discussione tali modelli archetipici di 'umano', è stato approfondito l'approccio data-driven che meglio risponde alla necessità di realizzare progetti contestualizzati nella società iperconnessa contemporanea. L'utilizzo dei dati presenta numerosi vantaggi: offre agli utenti un'esperienza personalizzata; rende il progetto più inclusivo; produce esperienze d'uso più coinvolgenti; aumenta la soddisfazione del fruitore a lungo termine; permette di migliorare l'esperienza col tempo, all'aumentare di dati disponibili.

Tuttavia l'utilizzo di algoritmi è ad oggi problematico in quanto richiede un'attenta gestione della privacy dell'utente, riduce il potere decisionale umano, non è totalmente imparziale, rischia di alimentare pregiudizi e stereotipi preesistenti e necessita di ampie infrastrutture per l'immagazzinamento dei dati. Queste considerazioni devono essere soppesate con la doverosa cautela che accompagna l'introduzione di nuovi strumenti in attesa di una validazione definitiva. Alla luce del confronto tra i modelli, è auspicabile l'integrazione di metodi HCD consolidati con le nuove possibilità fornite dalla datafication, in un processo progettuale che integra i due aspetti e che viene presentato, sotto forma di diagramma (Fig. 8), a conclusione del paper.

Tale processo ibrido si articola come segue: vengono definite alcune Personas come base per informare le scelte dei designer (a fronte dell'utilizzo di altri metodi di ricerca progettuale); viene rilasciata una prima versione del progetto, con cui gli utenti possono interagire; l'interazione produce dati di utilizzo che informano algoritmi di ML; gli algoritmi intervengono personalizzando l'esperienza dei diversi utenti; all'aumentare dei dati, le predizioni dell'IA diventano più precise e permettono di definire cluster di utenti con interessi e bisogni simili; l'analisi di queste informazioni produce conoscenza che offre l'opportunità di modificare, implementare e raffinare il progetto.

In conclusione, se è vero che inserire l'utente al centro del processo progettuale richiede necessariamente di produrre una rappresentazione degli end-user e che, per definizione, una rappresentazione è una versione meno dettagliata della realtà (Turner and Turner, 2011), anche gli stereotipi – se non sono viziati da pregiudizi – possono comunicare in modo accurato informazioni su un gruppo di persone. Se è più facile cadere negli stereotipi attraverso processi progettuali personas-based piuttosto che sfruttando i dati degli utenti (Floyd, Jones and Twidale, 2008), nondimeno gli stereotipi e le nozioni del sapere comune, se utilizzati con cautela, possono essere indicativi nello sviluppo delle Personas (Pruitt and Adlin, 2006).

Allo stesso tempo l'utilizzo dei dati non dovrebbe essere accolto come uno strumento ineccepibile, ma con la consapevolezza dei limiti entro i quali è possibile adoperarli con successo. In tal senso l'ambito della progettazione ha sempre svolto il difficile ruolo di individuare le strategie attraverso cui rendere le innovazioni accettate e alla portata di tutti. L'impiego dei dati nei riguardi del

design sembrerebbe, perciò, la strada da percorrere per un miglioramento sotto molteplici punti di vista, non ultimo il tema dell'inclusione, che ancora troppo spesso viene messo da parte, non abbracciando mai completamente lo standard Human-Centred.

The article *The End of Theory* by Anderson (2008) has obtained great visibility and livened up the academic debate, declaring the obsolescence of the scientific method facing the great number of available information and the computing power of computers capable of processing such data and extracting knowledge from it. Although these provocative opinions have been greatly criticised (Priori, 2018), it is undeniable that the datafication phenomenon (Partadiredja, 2020) is influencing and radically transforming many research fields. It is estimated that more than 98% of the information produced by mankind is stored in digital archives (Gambetta, 2018). This heritage is the working input for Machine Learning (ML) and Artificial Intelligence (AI) to make many emerging technologies work: voice interfaces, computer vision, predictive services, bots, virtual and augmented reality, and IoT products. These systems create an impression of intelligence when users and technology interact, adapting their response to the situation and/or specific person (Clark, 2019).

However, the increasing quantity of data produced by wearable devices, sensors in the environment and in products that surround us, represent a great potential for design, still not fully understood and enhanced, although it is subject of discussion in the scientific community (King, Churchill and Tan, 2017). It seems hyperbolic to claim, like Anderson (2008), that every model has become obsolete because of the amount of data that can be analysed and connected. Nevertheless, this technological revolution requires reconsidering the traditional approaches, with the aim to update the design practice in order to make the designer's activity keep its effectiveness in creating pleasant, positive and useful user experiences.

Specifically, the paper presents considerations on the effectiveness of the Human-Centred (HC) models in guiding the design of technological products and services that will be present in our future. In particular, the Personas method (Roman, 2019), widely recognised and credited, may contribute to the definition of an overly standardised target group (Emmanuel and Polito, 2022). Therefore, a comparison between the HCD process based on this model and the recent data-driven design is proposed (King, Churchill and Tan, 2017).

Taking inspiration from a critique on Personas based on the identification of some limits in recognising and enhancing the variability of personal characteristics of users and their intersectionality, the paper presents the advantages and problems of models based on profiling users through their data. In particular, we delve into some problems linked to the implementation of ML and AI systems in different aspects of society. In conclusion, it is proposed a summary of the opportunities and limitations of the classic tools of HCD design and of the innovative approaches based on datafication, up to an interpretation of the structure of the

design process, to understand and best use its potential.

Personas: limits and risks | The design trend of calling people 'users' shows a sensitivity aimed exclusively at the aspects directly linked to the person-product interaction. This often leads to misconceptions about the enjoyment of a product/service from a reference target. The interaction with technology is not the same one-way flow from human to machine for everyone (Subrahmanian, Reich and Krishnan, 2020); on the contrary, people interact differently with an artefact, creating a variety of complex relations, influenced by personal characteristics, environmental and social context and the network of interconnected technologies that form the setting of the interaction (DiSalvo and Lukens, 2011).

There is a well-established awareness on how much responsibility designers bear, concerning inequalities about marginalised social groups, overcoming the common misunderstanding of considering that 80% of humanity is in the centre of the 'standard curve' and that working for the average subject of this area solves the majority of the design problems, leaving out those who, falling outside this range, are considered abnormal (Holmes, 2020). Often the number of excluded people, assuming that human characteristics can be considered in binary terms, is extremely underestimated. Actually, sensory, cognitive and physical abilities tend to spread across a spectrum and may vary during life (Jenkins and Baker, 2019).

In this context, traditional design research methods, including those with a participatory nature, are not often capable of considering the specific needs of marginalised categories (Erete, Israni and Dillahunt, 2018). The Personas method, despite its recognised value in developing the empathy of the designer towards the needs and motivations of the users (Dharwada et alii, 2007), has different problems that can make it ineffective or even damaging for the project.

According to the categorisation defined by Laubheimer (2020), the Personas can be created following three paths: Proto Personas, described by the team without making new research; Qualitative Personas based on qualitative research carried out on a small sample of users; Statistical Personas, developed on the outputs of extensive research carried out mainly with quantitative methods. Proto Personas are clearly uninformative and risk making user representations fall within stereotypes or feeding the designer's prejudices (Laubheimer, 2020) that may result in the I-Methodology, defined by Akrich (1995) as the design practice in which designers consider themselves and their personal experiences as a representation of the users. However, even Qualitative Personas and Statistical Personas can be inaccurate, since the first ones are based on a scarce number of users and cannot be considered significant, and the latter provide little insight into the motivations and mindsets of users, being outlined based on quantitative data.

Oudshoorn, Rommes and Stienstra (2004) strongly criticise some case studies aimed at designing virtual cities, for the profiling method of final users. De Digitale Stad (Fig. 1), the first accessible digital city in the Netherlands, was designed following the directions of the local administration,

which was the main stakeholder. Both the local governor and Marleen Stikker – creator of the project – expressed the will to create a city accessible to ‘everyone’ (van Bastelaer, 1998). This statement showed great attention towards people, but such a broad target has led to scarcely considering the use of simplicity criteria in the design stages. Once the problems emerged, the design-

ers abandoned the Design for All concept, making, however, new mistakes.

With the aim to identify the preferences and needs of the users through the Personas method, the designers have become self-referential, unconsciously applying the I-methodology (Akrich, 1995). For instance, the interface was set to make the user understand how to use the service, through

a trial-and-error process. In an interview on the subject, Felipe Rodriguez (the UI design curator) declared: «You have to keep things exciting; discovering is important. This has to do with the way in which I discovered the Internet and all its possibilities, [...] and that is fascinating. So you have to let people discover things; that’s fun» (quote in Oudshoorn, Rommes and Stienstra, 2004, p. 41).

Another example of the errors that can be made in this sense was presented by Turner and Turner (2011). In their study, the two researchers asked 42 male designers to design an iPhone app for women. Almost everyone described the Personas as girls in their twenties, successful, busy, socially active, and attractive. When a similar group of 51 designers was asked the same brief without specifying the gender of the end-users, the Personas proposed were almost exclusively young men, busy with work and socially active. The creation of Personas can easily bring to use I-methodology or, when the designers are pushed to understand a different public the profiling becomes stereotyped (Nielsen et alii, 2006).

A plausible solution to these problems, proposed over the last years, consists of diverse design teams. Although excessive differences in the members’ backgrounds may lead to overstretching in the collaborative process, according to Trischler, teams characterised by minimum separation, maximum variety and moderate disparity produce the most promising results (Trischler, Kristensson and Scott, 2018). In the meantime, the evolution of digital technologies – and their pervasive implementation in many fields of society – supports the overcoming of practical limitations that are an obstacle to adapting the project to its user. Products and services using these opportunities aim to go beyond the concept of ‘customisation’, favouring a true ‘personalisation’ (Zhang et alii, 2019), to make the project autonomously modify to meet the specific needs of the user.

Datafication: opportunities and problems |

The core of datafication is the development of increasingly reliable predictive abilities concerning all dimensions of users’ lives, including private, emotional and affective spheres. The predictions are based on personal data mining, coming from the interaction with digital systems (Kaufman, 2021). The number of these devices is significantly higher than the population, and this trend is not expected to reverse shortly. The ML algorithms, fed with these data, can satisfy the needs of the single user, even predicting what they could need or find interesting in the future. The aim of the design activity is to make desirable changes to reality (Maeda, 2022), and the data-driven design tools seem perfectly coherent with this mission, allowing the designers to act comprehensively on the experience of every user and modelling the context to make it as obstacle-free, safe and pleasant as possible.

In this sense, a perfect example is Spotify – a Swedish music streaming platform – that makes the personalisation of the experience the core of its offer. Unsurprisingly, Oskar Stål (2021) – a senior leader in the personalisation sector – declared: «We may have a single platform with 381 million different users, but it may actually be more accurate to say there are 381 million individual versions of Spotify, each one filled with different

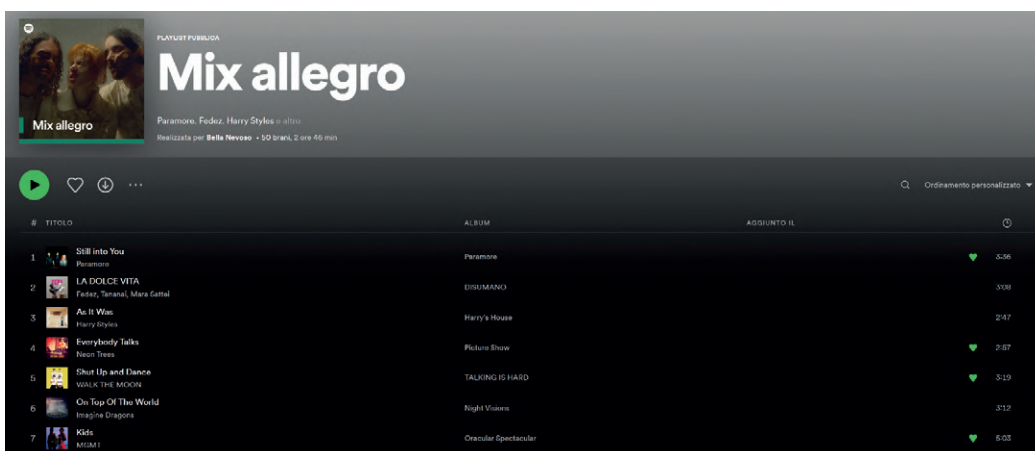
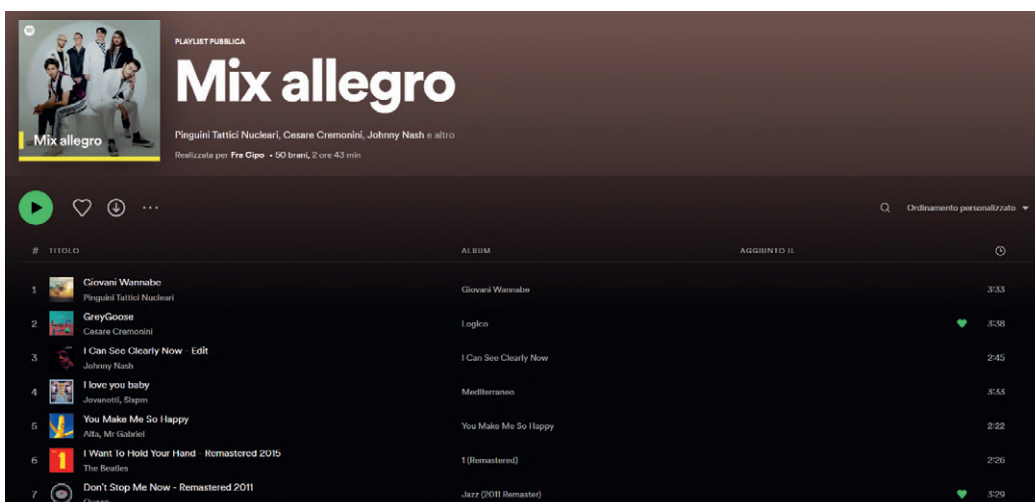
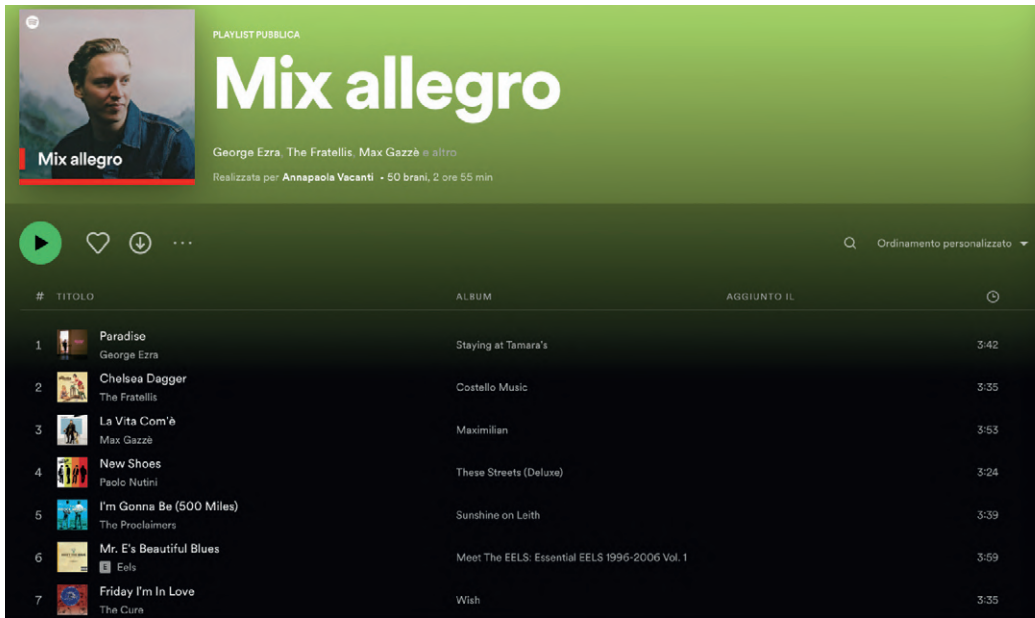


Fig. 2 | 'Mix Allegro', a playlist made by Spotify specifically for Annapaola (credit: A. Vacanti, 2022).

Fig. 3 | 'Mix Allegro', a playlist made by Spotify specifically for Francesco (credit: F. Burlando, 2022).

Fig. 4 | 'Mix Allegro', a playlist made by Spotify specifically for Isabella (credit: I. Nevoso, 2022).

homepages, playlists, and recommendations».

Spotify’s Machine Learning algorithms are fed with different data, such as: the history of listened music; the creation of personal playlists; UI interaction; the moment of the day; the aim of the playlist (workout, relax, etc.); mobile or desktop use. This information is used not only to improve the user experience in the short term but also to increase satisfaction in the long term, with suggestions that can present an ‘audio diet’ with balanced contents (Figg. 2-4). This type of model, called RL (Reinforcement Learning), responds to

the current situation, trying to understand the users’ satisfaction level and predict the music that could increase the appreciation of the service in the future.

Another virtuous case, although sometimes criticised, is Netflix, one of the most known Internet distribution platforms for films and TV series. While its main competitors are part of wider media ecosystems, the success of Netflix is based exclusively on its ability to attract and keep subscribers (Khoo, 2022). The ML has a central role in reaching these objectives: the company has

created what is called Netflix Recommender System (NRS); an umbrella term referring to a series of proprietary computational tools to offer a personalised experience to each user.

The NRS uses a combination of filtering algorithms content-based and collaborative. The first ones recommend contents based on the user’s past experience with the app (history of vision, interaction with UI, viewing time, etc.). The collaborative algorithms are based on wider trends, concerning the preference of other users identified as similar. These ‘taste communities’ go beyond ge-

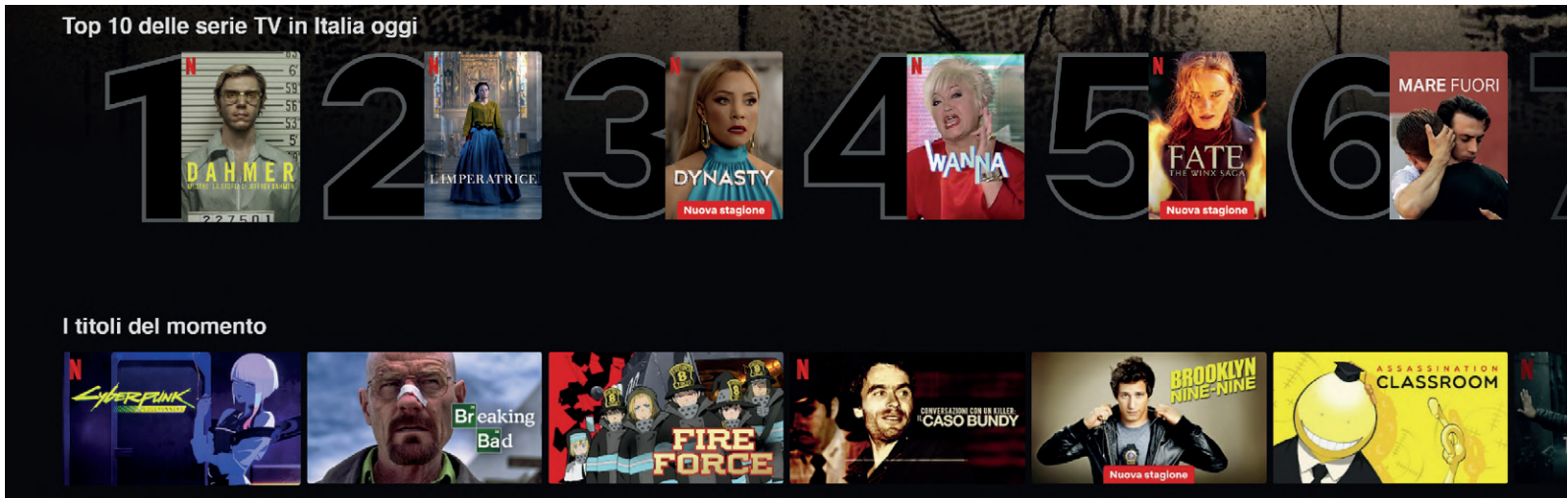
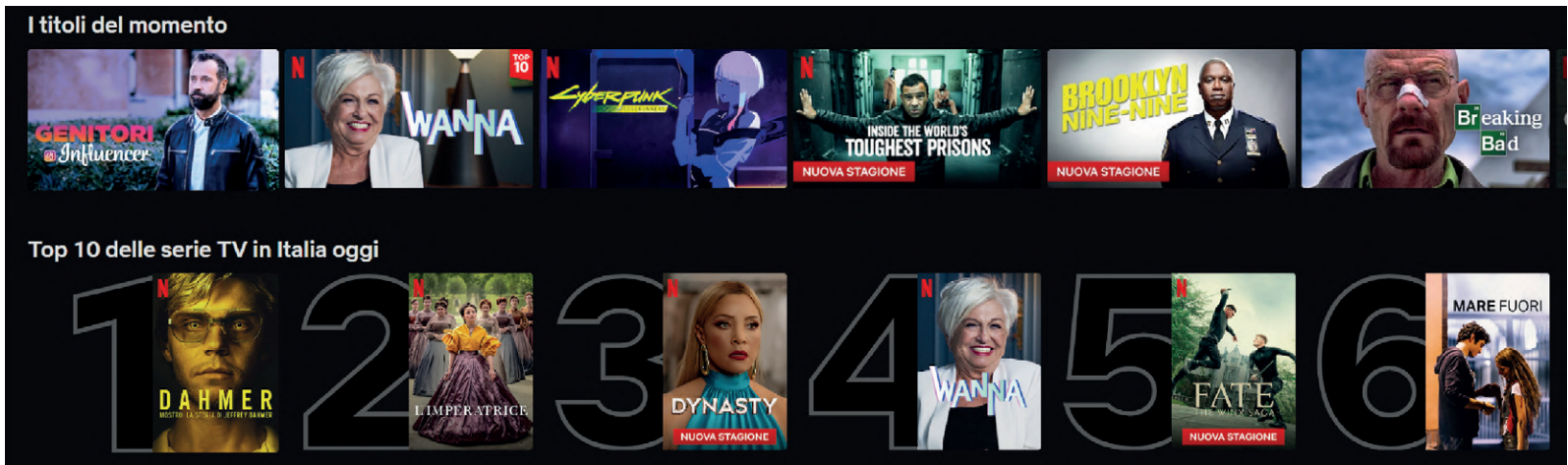
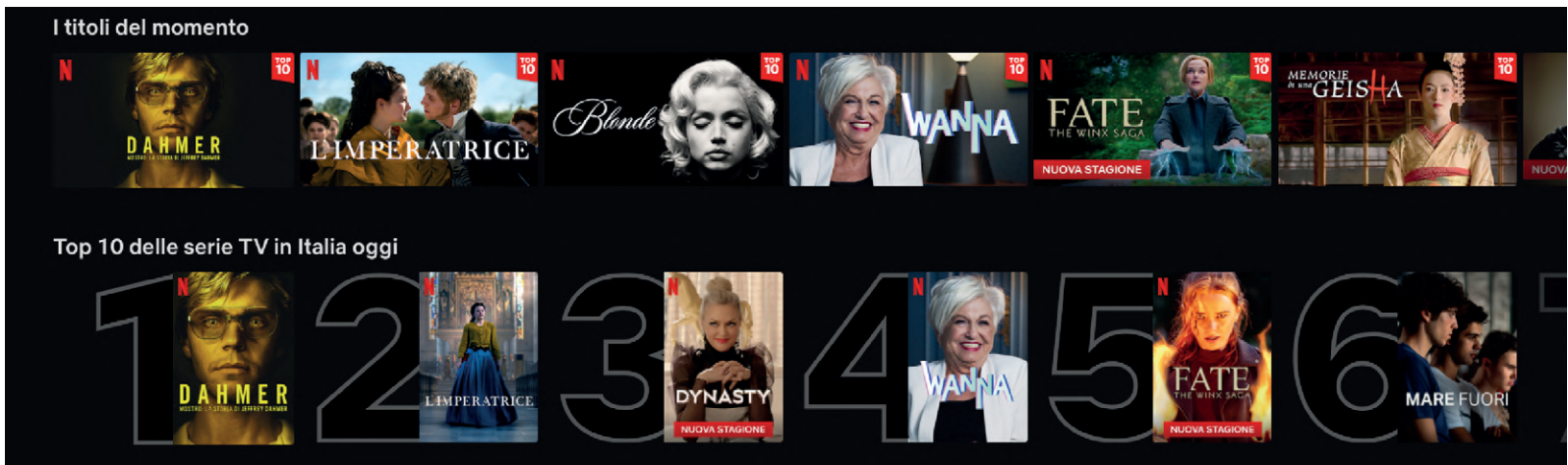


Fig. 5 | The trending and Top 10 tv series suggested for Annapaola by Netflix (credit: A. Vacanti, 2022).

Fig. 6 | The trending and Top 10 tv series suggested for Francesco by Netflix (credit: F. Burlando, 2022).

Fig. 7 | The trending and Top 10 tv series suggested for Isabella by Netflix (credit: I. Nevoso, 2022).

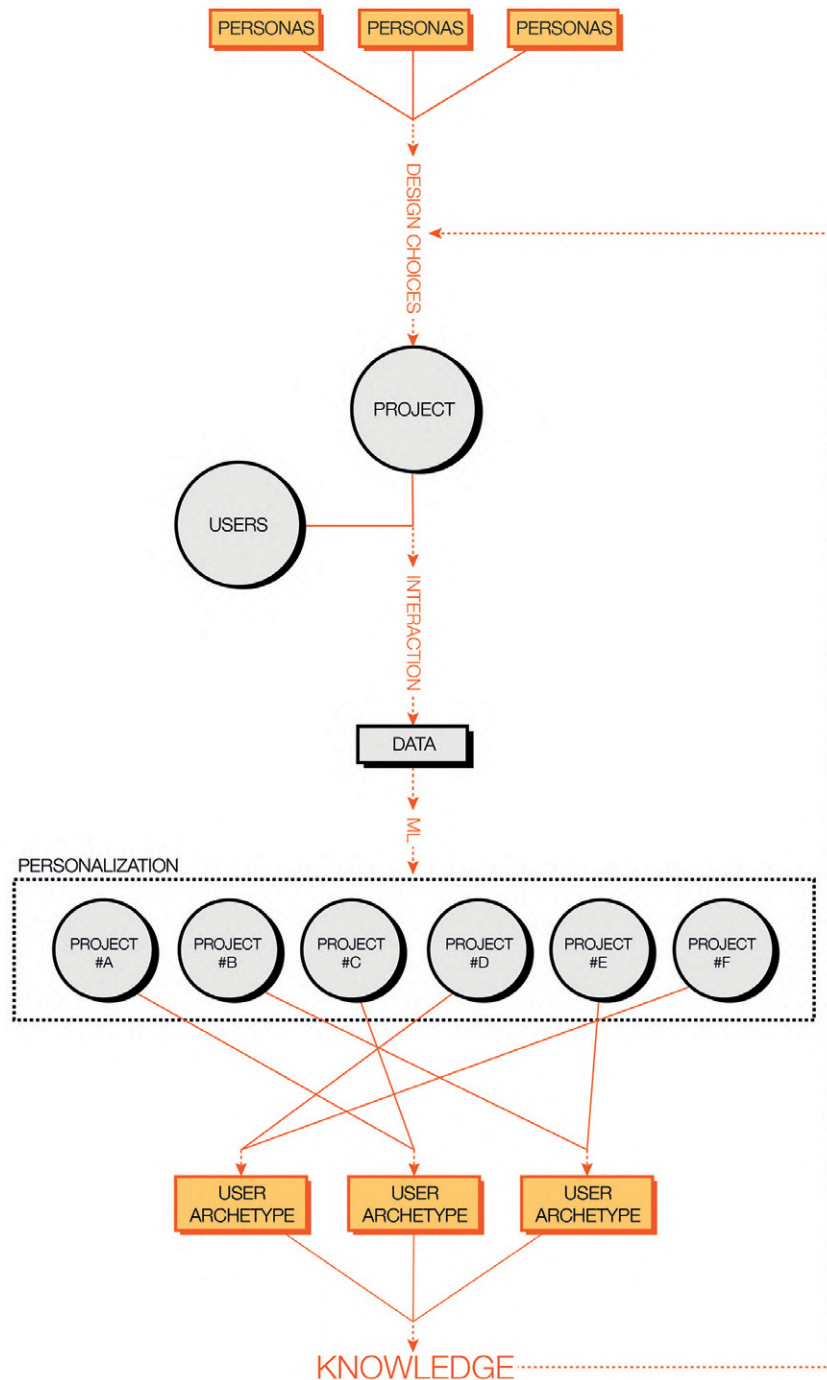


Fig. 8 | The informed data design process, in which the traditional methods and the designer's creativity interact with ML systems (credit: A. Vacanti, 2022).

ographic boundaries, initially used by Netflix for their suggestions (Pajkovic, 2021). Moreover, to make recommendations more effective, an artwork personalisation algorithm was implemented (Fig. 5-7) to present audiovisual products in the homepage (Khoo, 2022). The effectiveness of the artwork in attracting each client is fundamental for the success of the platform since the promotional images mainly influence the viewing choice for 82% of subscribers (Nelson, 2016).

In a nutshell, the use of AI in the design field seems the perfect tool to overcome differences in the treatment of users belonging to marginalised groups, following the principle that each person deserves the opportunity to enjoy products and services that they perceive as being made specifically for them (Jean-Baptiste, 2020). Although offering unquestionable opportunities to the de-

signer, the progressive transformation of every aspect of our lives, carries many challenges that need to be faced to avoid the risk of unsatisfactory outputs (Partadiredja, 2020).

Some critics argue that the algorithms' ability is replacing that of human beings, subject to mathematical predictions that influence their choices for commercial purposes, taking away awareness and transparency from the decisional process (Singh, 2020). Moreover, the introduction of AI products and services in the life of people is not evenly distributed: age, economic possibilities and political context are characteristics that make the difference in the relationship between people and technologies (Lupton, 2020). This means that our algorithms, although not intentionally programmed with discriminatory intentions, use data only from a part of the population. Hence, they risk

creating outputs influenced by human prejudices, values and stereotypes (Partadiredja, 2020).

A similar phenomenon can be found in the Netflix case: the platform has received strong criticisms for alleged racial subtexts linked to the choice of personalised artworks showing actors of similar ethnicity to the user, although they have marginal roles in this content (Khoo, 2022).

Another critical point of data-driven design is linked to the general impression of society on user profiling, necessary for experience personalisation. Public opinion, negatively influenced by events such as phishing messages – credible because of information contained in public social profiles – considers with a critical eye the request to transfer the right to use data (Lupton, 2020). This legitimate will to preserve privacy, and keep anonymity, influences the proper function of systems designed to personalise while creating clear and consistent policies globally requires longer than the development rate of new technologies.

This quick development is one of the most urgent issues to be addressed shortly, also considering the availability of memory in terms of storage space: over the last years, it has not grown together with the increase of data to be stored. Our environments (physical and virtual) are increasingly shaped and redesigned by AI. This shows the need to adapt our design processes and mental approaches to this innovation, to use the potential to our advantage, avoiding blind and unconscious use.

Conclusions | The paper has delved into some problems that make traditional HC design methods obsolete, discussing the opportunity to overcome them through data-driven systems capable of personalising the experience of each user. First, the known advantages of using the Personas have been recognised: they help designers to empathise with users and understand their needs; are an economical and generally quick method; when used cautiously, they allow to use stereotypes and common knowledge notions for the benefit of the project. However, the Personas method has some problems: promotes the risk of falling into existing prejudices and stereotypes; Personas are often based on user samples that are too small to be relevant; they lead to overly homogeneous design solutions for diverse target groups; it may result in the use of I-Methodology.

These archetypal models of 'human' were questioned, and the data processing approach was investigated, which better responds to the need to create projects contextualised in our hyperconnected society. The use of data has many advantages: gives users a personalised experience; makes the project more inclusive; creates more involving user experiences; increases user satisfaction in the long term; allows for improving the experience in time, when the available data increase.

However, the use of algorithms is still problematic, since it requires careful management of user privacy, reduces human decision-making power, is not fully impartial, risks feeding pre-existing prejudices and stereotypes and requires extensive data storage infrastructures. These considerations should be evaluated with caution accompanying the introduction of new tools while waiting for final validation. In light of the comparison between the models, the integration of the well-established HCD methods with the new possibilities offered by

datafication is desirable, in a design process integrating the two aspects and that is presented to end the paper, as a diagram (Fig. 8).

This hybrid process is structured as follows: some Personas are defined as the basis to form the designer choices (as opposed to the use of other project research methods); a first draft of the project is released, and the users can interact with it; the interaction produces user data that feed the ML algorithms; the algorithms personalise the experience of the users; when the data increase, AI predictions become more precise and allow the creation of clusters of users with similar interests and needs; the analysis of this information creates

knowledge, giving the opportunity to modify, implement and refine the project.

In conclusion, putting the user at the core of the design process requires necessarily the creation of a representation of the end-user and, by definition, a representation is a less-detailed version of reality (Turner and Turner, 2011), hence, also stereotypes – if not biased – can accurately give information about a group of people. It is easier to fall into stereotypes by using Persona-based design processes than by using user data (Floyd, Jones and Twidale, 2008). However, stereotypes and common knowledge, if used with caution, can guide Personas development (Pruitt and

Adlin, 2006). At the same time, the use of data should not be considered as an impeccable tool, but the limits within which they can be used successfully should be considered. In this sense, the design field has always had the difficult role of finding strategies to make innovations accepted and affordable for everyone. The use of data in the design field, therefore, seems the path to take for an all-around improvement, including inclusion, often still cast aside, never fully embracing the Human-Centred standard.

Acknowledgements

The paper is the result of a joint reflection by the Authors carried out with the supervision of N. Casiddu. The introductory paragraph have to be attributed to C. Porfirione, 'Personas: limits and risks' to F. Burlando, 'Datafication: opportunities and problems' to A. Vacanti and 'Conclusions' to I. Nevoso.

References

- Akrich, M. (1995), "User Representations – Practices, Methods and Sociology", in Rip., A., Misa, T. J. and Schot, J. (eds), *Managing Technology in Society – The Approach of Constructive Technology Assessment*, Pinter Publishers, London-New York, pp. 167-184.
- Anderson, C. (2008), "The end of theory – The data deluge makes the scientific method obsolete", in *Wired magazine*, 23/06/2008. [Online] Available at: wired.com/2008/06/pb-theory/ [Accessed 29 September 2022].
- Clark, J. (2019), "Why machine learning and AI matter for design teams", in *BigMedium*, 28/03/2019. [Online] Available at: bigmedium.com/ideas/why-machine-learning-and-ai-matter-for-design-team.html [Accessed 29 September 2022].
- Dharwada, P., Greenstein, J. S., Gramopadhye, A. K. and Davis, S. J. (2007), "A Case Study on Use of Personas in Design and Development of an Audit Management System", in *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, vol. 51, issue 5, pp. 469-473. [Online] Available at: [dx.doi.org/10.1177/154193120705100509](https://doi.org/10.1177/154193120705100509) [Accessed 29 September 2022].
- DiSalvo, C. and Lukens, J. (2011), "Nonanthropocentrism and the nonhuman in design – Possibilities for designing new forms of engagement with and through technology", in Foth, M., Forlano, L., Satchell, C. and Gibbs, M. (eds), *From social butterfly to engaged citizen – Urban informatics, social media, ubiquitous computing, and mobile technology to support citizen engagement*, MIT Press, Cambridge, pp. 421-436.
- Emmanuel, G.-S. and Polito, F. (2022), "How Related Are Designers to the Personas They Create?", in Soares, M. M., Rosenzweig, E. and Marcus, A. (eds), *Design, User Experience, and Usability – Design Thinking and Practice in Contemporary and Emerging Technologies HCII 2022*, Lecture Notes in Computer Science, vol. 13323, Springer, Cham, pp. 3-13. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-031-05906-3_1 [Accessed 29 September 2022].
- Erete, S., Israni, A. and Dillahunt, T. (2018), "An intersectional approach to designing in the margins", in *Interactions*, vol. 25, issue 3, pp. 66-69. [Online] Available at: doi.org/10.1145/3194349 [Accessed 29 September 2022].
- Floyd, I. R., Jones, M. C. and Twidale, M. B. (2008), "Resolving incommensurable debates – A preliminary identification of persona kinds, attributes, and characteristics", in *Artifact*, vol. 2, issue 1, pp. 12-26. [Online] Available at: doi.org/10.1080/17493460802276836 [Accessed 29 September 2022].
- Gambetta, D. (2018), "Divenire cyborg nella complessità", in Gambetta, D. (ed.), *Datacrazia – Politica, cultura algoritmica e conflitti al tempo dei big data*, d editore, Roma, pp. 14-36.
- Holmes, K. (2020), *Mismatch – How inclusion shapes design*, MIT Press, Cambridge.
- Jean-Baptiste, A. (2020), *Google Diversity Toolkit – How to build products for everyone, with everyone*, Wiley, Hoboken (USA).
- Jenkins, D. and Baker, L. (2019), "Designing for Diversity", in *Design Council*, 27/06/2019. [Online] Available at: designcouncil.org.uk/news-opinion/designing-diversity [Accessed 29 September 2022].
- Kaufman, B. (2021), "Personas Vs Personalization", in *Position2*, 24/06/2021. [Online] Available at: position2.com/blog/personas-vs-personalization/ [Accessed 29 September 2022].
- Khoo, O. (2022), "Picturing Diversity – Netflix's Inclusion Strategy and the Netflix Recommender Algorithm (NRA)", in *Television & New Media*, pp. 1-17. [Online] Available at: doi.org/10.1177/15274764221102864 [Accessed 04 October 2022].
- King, R., Churchill, E. F. and Tan, C. (2017), *Designing with data – Improving the user experience with A/B testing*, O'Reilly Media, Newton (USA).
- Laubheimer, P. (2020), "3 Persona Types – Lightweight, Qualitative, and Statistical", in *Nielsen Norman Group*, 21/06/2020. [Online] Available at: nngroup.com/articles/persona-types/ [Accessed 29 September 2022].
- Lupton, D. (2020), "Thinking with Care About Personal Data Profiling – A More-Than-Human Approach", in *International Journal of Communication*, vol. 14, pp. 3165-3183. [Online] Available at: ijoc.org/index.php/ijoc/article/view/13540/3114 [Accessed 29 September 2022].
- Maeda, J. (2022), *Resilience Tech Report 2022*. [Online] Available at: resiliencetech.report [Accessed 29 September 2022].
- Nelson, N. (2016), "The Power of a Picture", in *Netflix*, 03/05/2016. [Online] Available at: about.netflix.com/en/news/the-power-of-a-picture [Accessed 5 October 2022].
- Nielsen, J., Yssing, C., Levinsen, K., Clemmensen, T., Ørngreen, R. and Nielsen, L. (2006), "Embedding complementarity in HCI methods and techniques – Designing for the cultural other", in Clemmensen, T., Campos, P., Ørngreen, R., Pejtersen, A. M. and Wong, W. (eds), *HWID 2006 – Human Work Interaction Design – Designing for Human Work – IFIP International Federation for Information Processing*, vol. 221, Springer, Boston (MA), pp. 93-102. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-0-387-36792-7_5 [Accessed 29 September 2022].
- Oudshoorn, N., Rommes, E. and Stienstra, M. (2004), "Configuring the User as Everybody – Gender and Design Cultures in Information and Communication Technologies", in *Science, Technology & Human Values*, vol. 29, issue 1, pp. 30-63. [Online] Available at: doi.org/10.1177/0162243903259190 [Accessed 29 September 2022].
- Pajkovic, N. (2021), "Algorithms and taste-making – Exposing the Netflix Recommender System's operational logics", in *Convergence | The International Journal of Research into New Media Technologies*, vol. 28, issue 1, pp. 214-235. [Online] Available at: doi.org/10.1177/13548565211014464 [Accessed 05 October 2022].
- Partadiredja, R. A. (2020), "Datafication and design – Are we designing the right thing?", in *kommunikation.medien*, vol. 2020, issue 12, pp. 1-10. [Online] Available at: doi.org/10.25598/JKM/2020-12.9 [Accessed 29 September 2022].
- Priori, E. (2018), "Is correlation enough? (Spoiler: No!)", in Gambetta, D. (ed.), *Datacrazia – Politica, cultura algoritmica e conflitti al tempo dei big data*, d Editore, Roma, pp. 124-135.
- Pruitt, J. and Adlin, T. (2006), *The Persona Lifecycle – Keeping People in Mind Throughout Product Design*, Morgan Kaufmann Publishers-Elsevier, Burlington (USA).
- Roman, C. (2019), "The Problem with Personas", in *Medium*, 27/02/2019. [Online] Available at: medium.com/typecode/the-problem-with-personas-b6734a08d37a [Accessed 29 September 2022].
- Singh, S. (2020), "Why Am I Seeing This? – How Video and E-Commerce Platforms Use Recommendation Systems to Shape User Experiences", in *New America*, 25/03/2020. [Online] Available at: newamerica.org/oti/reports/why-am-i-seeing-this/ [Accessed 5 October 2022].
- Stål, O. (2021), "How Spotify Uses ML to Create the Future of Personalization", in *Spotify Engineering*, 02/12/2021. [Online] Available at: engineering.atspotify.com/2021/12/how-spotify-uses-ml-to-create-the-future-of-personalization/ [Accessed 29 September 2022].
- Subrahmanian, E., Reich, Y. and Krishnan, S. (2020), *We Are Not Users – Dialogues, Diversity, and Design*, MIT Press, Cambridge.
- Trischler, J., Kristensson, P. and Scott, D. (2018), "Team diversity and its management in a co-design team", in *Journal of Service Management*, vol. 29, issue 1, pp. 120-145. [Online] Available at: [dx.doi.org/10.1108/JOSM-10-2016-0283](https://doi.org/10.1108/JOSM-10-2016-0283) [Accessed 29 September 2022].
- Turner, P. and Turner, S. (2011), "Is stereotyping inevitable when designing with personas?", in *Design studies*, vol. 32, issue 1, pp. 30-44. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.destud.2010.06.002 [Accessed 29 September 2022].
- van Bastelaer, B. (1998), "Digital cities and transferability of results", in *Proceedings of the 4th EDC conference on digital cities, Salzburg, October 29-30 1998*, pp. 61-70. [Online] Available at: citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.1046.5230&rep=rep1&type=pdf [Accessed 29 September 2022].
- Zhang, C., Chen, D., Tao, F. and Liu, A. (2019), "Data Driven Smart Customization", in *Procedia CIRP*, vol. 81, pp. 564-569. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.procir.2019.03.156 [Accessed 29 September 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

Davide Crippa, Massimiliano Cason Villa, Barbara Di Prete,
Lucia Ratti, Agnese Rebaglio, Marco Zanini, Francesca Zanotto

ABSTRACT

Lo sviluppo sostenibile e la transizione digitale trovano ampio spazio nel dibattito intorno alle discipline del progetto che, tuttavia, fanno proprio il tema a velocità diverse. Se la ricerca per la progettazione architettonica e urbana lavora da tempo verso l'innovazione dei paradigmi progettuali e costruttivi in senso sostenibile e circolare, il design espositivo tarda ad integrare questi aspetti nelle proprie strutture creative e gestionali. In quest'ottica la transizione digitale rappresenta una grande opportunità per lo sviluppo di sistemi integrati per filiere produttive circolari. Il testo esplora lo stato dell'arte nei settori dell'architettura e dell'allestimento, individuando traiettorie di innovazione dentro casi di piattaforme collaborative emblematiche, sottolineandone limiti e reciproche lezioni apprese.

Sustainable development and digital transition find wide space in the debate around design disciplines that take up the theme at different paces. While architectural and urban design research has long been working towards innovating design and construction paradigms in a sustainable and circular sense, exhibition design has slowly integrated these aspects into its creation and management structures. From this perspective, the digital transition represents an excellent opportunity to develop integrated systems for circular production chains. The text explores the state of arts in architecture and exhibition design, identifying innovation trajectories within cases of emblematic collaborative platforms, and highlighting their limitations and mutual lessons learned.

KEYWORDS

transizione guidata dal design, piattaforme collaborative, mediazione digitale, economia circolare, riuso

design-led transition, collaborative platforms, digital mediation, circular economy, reuse

Davide Crippa, Architect and PhD, is a Researcher at the Department of Architecture and Arts, Università Iuav di Venezia (Italy). E-mail: dcrippa@iuav.it

Massimiliano Cason Villa is a Graduate Student of the School of Design, Politecnico di Milano (Italy). E-mail: massimiliano.cason@mail.polimi.it

Barbara Di Prete, Architect and PhD, is a Researcher at the Department of Design, Politecnico di Milano (Italy). E-mail: barbara.diprete@polimi.it

Lucia Ratti is a Research Associate of the Department of Design, Politecnico di Milano (Italy). E-mail: lucia.ratti@polimi.it

Agnese Rebaglio, Designer and PhD, is an Associate Professor of the Department of Design, Politecnico di Milano (Italy). E-mail: agnese.rebaglio@polimi.it

Marco Zanini, Architect, has been freelancing in Italy since 2022, implementing a circular and sustainable approach to design. E-mail: mrczanini@gmail.com

Francesca Zanotto, Architect and PhD, is a Research Fellow within the Integral Design Environment (I.r.ide) – Publishing Actions and Research Development (Pard) Research Infrastructure, Università Iuav di Venezia (Italy). E-mail: fzanotto@iuav.it



La sostenibilità, nelle diverse accezioni individuate dai 17 Obiettivi per lo Sviluppo Sostenibile dell'Agenda 2030 delle Nazioni Unite, è una sfida aperta che diversi settori produttivi stanno solo iniziando ad affrontare. In particolare la transizione circolare, uno dei temi centrali del Green Deal europeo (European Commission, 2019), appare urgente alla luce dell'attuale crisi energetica e dell'esaurimento delle materie prime; essa trova ampio spazio nel dibattito interno alle discipline del progetto (Baiani and Altamura, 2018; Epifani, 2020; Giglio, Lauria and Lucarelli, 2021; Losasso, 2021), seppur con specificità diverse. La ricerca per la progettazione architettonica e urbana lavora da tempo, infatti, verso l'innovazione dei paradigmi progettuali e costruttivi in senso sostenibile e digitale, ma anche la pratica offre diversi esempi sia di riuso adattivo sia di riutilizzo di componenti e materiali edili (Ciorra and Marini, 2011; Choppin and Delon, 2014). Il design espositivo, invece, fatica ancora a tradurre l'innovazione digitale in allestimenti circolari, rimanendo ancorato a prassi creative e gestionali codificate ma desuete¹. Se, infatti, sempre più mostre promuovono i valori della sostenibilità, paradossalmente ancora poche hanno adottato strumenti e strategie per concretizzare tali valori in soluzioni progettuali replicabili e scalabili.

Secondo una recente stima della Commissione Europea il settore delle costruzioni è responsabile di metà delle estrazioni di materie prime, metà del consumo energetico, un terzo del consumo idrico e un terzo dei rifiuti prodotti nell'Unione (European Commission, 2021). Considerando la prospettiva a lungo termine della progettazione architettonica e dell'edilizia, è quindi urgente elaborare filiere e sistemi il più possibile integrati che ottimizzino l'uso delle risorse materiali durante tutto il ciclo di vita dell'edificio, fino alla sua dismissione. D'altra parte la disciplina dell'exhibit design intrinsecamente ragiona su una dimensione temporale limitata: il manufatto allestitivo ha una natura effimera, essendo progettato non solo per durare un tempo breve, ma anche per contesti e siti specifici. La sua forte peculiarità rispetto all'evento lo rende difficilmente replicabile; anche per questo motivo diventa strategico esplorare processi innovativi per un approccio sostenibile, dove riciclo e recupero si coniugano grazie alla mediazione digitale.

Rivolgendosi a progettisti e decisori pubblici il testo prende in esame il ruolo che la transizione digitale può giocare in questa prospettiva circolare: una lettura sinergica tra i due settori illustra come gli strumenti digitali possano intervenire sul ciclo di vita dei componenti edilizi così come di quelli allestitivi, favorendo uno sviluppo sostenibile. A livello metodologico il saggio analizza, in un'indagine di respiro internazionale, pratiche d'innovazione di servizio e di processo, di matrice privata o pubblica, strutturate in una lettura parallela tra gli ambiti dell'architettura e dell'exhibit per individuarne, infine, tangenze, ricorrenze e difformità. Alla presente introduzione, che traccia i contorni della questione dell'urgenza di una transizione circolare per le discipline del progetto, seguono due analisi successive dei due ambiti oggetto dell'indagine: il progetto di architettura e il progetto di allestimento.

Ognuna delle due analisi presenta un primo paragrafo che tratteggia lo stadio di avanzamento

della ricerca e della pratica verso la circolarità del settore specifico; un secondo paragrafo illustra le sperimentazioni più significative e innovative in atto nel campo di pertinenza, talvolta già codificate in pratiche replicabili, che dimostrano le potenzialità del digitale per una transizione circolare e sostenibile in ognuno dei due ambiti. Chiude la trattazione un paragrafo conclusivo che raccorda l'analisi parallela in una lettura delle innovazioni virtuose e barriere cruciali comuni ai due ambiti, ipotizzando possibili sinergie tra la filiera di riuso del progetto d'architettura e dell'exhibit design.

L'obiettivo è indagare il ruolo degli strumenti informatici nel definire strategie collaborative capaci di produrre un impatto di sistema, evidenziando soluzioni potenzialmente capaci, nel breve periodo, di promuovere nuove politiche di condivisione delle risorse. Il saggio, infatti, propone un'indagine sul ruolo del progetto come mediatore della transizione, in grado di portare a una maggiore sensibilità collettiva e alla codifica di nuovi dispositivi, piattaforme e servizi sempre più sostenibili. In particolare si intende riflettere sul ruolo che le piattaforme digitali possono giocare nella promozione di una prospettiva circolare; diversi progetti di condivisione in rete nati negli ultimi anni costituiscono, infatti, esempi di come la transizione digitale possa generare importanti innovazioni di processo: gli strumenti informatici hanno il potenziale di aprire campi d'azione innovativi, sfruttando le possibilità di connessione – senza necessità di prossimità fisica – tra dati, beni e stakeholders per risolvere inefficienze di sistema, creare nuove opportunità di scambio nella gestione delle risorse materiali e definire solide filiere di riuso.

Potenzialità e barriere alla transizione circolare del progetto d'architettura

Nel settore dell'architettura l'innovazione digitale ha rivoluzionato, negli ultimi trent'anni, il modo di progettare e costruire, rendendo il processo creativo e realizzativo sempre più efficiente grazie ai software di disegno e modellazione. L'impiego della tecnologia BIM, in particolare, rappresenta un notevole passo avanti verso una generale razionalizzazione dell'utilizzo delle risorse all'interno dei progetti d'architettura: il BIM, infatti, gestisce «[...] ampie quantità di dati, contribuendo così a fornire in fase di progettazione informazioni circa la sostenibilità delle scelte operate [...], supportando le diverse scelte che un tecnico o un utente è tenuto a svolgere nell'ottica della circolarità, non solo durante la vita dell'edificio ma anche nelle successive fasi di demolizione e recupero di componenti e materiali» (Franchino, Frettoloso and Pisacane, 2019, p. 43).

Il potenziale della tecnologia BIM per il riuso di componenti e materiali edilizi non trova, tuttavia, applicazione sistematica in una filiera di recupero strutturata, una necessità sempre più urgente in un settore delle costruzioni che, solo in Italia, produce il 45,1% dei rifiuti speciali ogni anno (ISPRA, 2022). Una quantità pari al 77,9% di tale quantitativo viene «[...] preparata per essere riutilizzata, riciclata o usata per altre operazioni di recupero di materiale» (ISPRA, 2022, p. 222), una descrizione 'aperta' che indica generalmente operazioni di recupero che impattano molto poco sui processi edilizi, come ad esempio l'incenerimento per la produzione di energia (European Commission, 2008, L312/13).

Questo ingente spreco di risorse corrisponde, naturalmente, a una consistente perdita di valore in termini economici, la cui entità è difficilmente quantificabile (Giorgi, Lavagna and Campioli, 2019) proprio in ragione della struttura odierna del sistema di smaltimento, che, almeno in Italia, dismette i rifiuti in macrocategorie e non consente la disaggregazione dei dati. I costi di smaltimento dei rifiuti da costruzione e demolizione sono già calcolati e integrati, a monte, nei costi di costruzione; non esiste una sistematizzazione dell'approvvigionamento e della certificazione di materiali di recupero, né un prezzario universale o una manodopera formalmente specializzata nel disassemblaggio, le cui lavorazioni, pertanto, non hanno un costo misurabile. La rigidità di questo sistema preserva, quindi, processi di tipo lineare, nell'ambito dei quali le prestazioni dei materiali sono certificate e i prezzi prevedibili.

Dal punto di vista normativo le direttive europee, recepite poi nell'ordinamento nazionale, sono da tempo orientate ad allentare la rigidità dei processi edilizi in una prospettiva di recupero materiale, per quanto con tempistiche di lungo periodo. La Direttiva 2018/851/UE allargherà, in previsione, l'impatto della già citata Direttiva 2008/98/CE, sancendo che entro il 2024 la Commissione valuterà «[...] the setting of preparing for re-use and recycling targets for construction and demolition waste and its material-specific fractions» (European Commission, 2018, L 150/130) e introdurrà misure «[...] to facilitate re-use and high-quality recycling by selective removal of materials, and to ensure the establishment of sorting systems for construction and demolition» (European Commission, 2018, L 150/129).

Pertanto, nel settore dell'architettura, il riutilizzo di componenti e materiali è effettuato per iniziativa dei promotori dei processi edilizi, conducendo un iter complesso attraverso le maglie della normativa, dei processi consolidati e dei pregiudizi culturali sul riuso. Esiste, pertanto, un gap tra il fervore esistente nella ricerca e nel dibattito intorno alla transizione circolare del settore e quanto è effettivamente possibile fare nella pratica. Gli strumenti digitali ad oggi esistenti, illustrati nel prosieguo della trattazione, costituiscono senza dubbio un passo in avanti per la transizione circolare del settore dell'architettura, rispondendo ai temi centrali (Giorgi, 2020) della questione: da una parte danno visibilità e accessibilità diffusa a risorse riutilizzabili, dall'altra lavorano in direzione di una tracciabilità dei componenti edilizi, al fine di rendere il riuso un'operazione sicura, codificata e assimilabile nei processi progettuali e costruttivi.

Piattaforme digitali per il riuso in architettura: diverse scale e obiettivi d'impatto, dalla condivisione di risorse al 'passaporto' dei materiali

Diverse piattaforme digitali nate nell'ultimo decennio in Europa supportano la transizione circolare nel settore dell'architettura e delle costruzioni, sviluppando focus diversi. Il contributo prende in esame diversi casi studio: un primo caso promuove la condivisione di progetti standardizzati di componenti, perseguendo l'ottimizzazione delle risorse già in fase progettuale; tre casi sviluppano, con diverse accezioni, l'idea di un marketplace per lo scambio di materiali e componenti edilizi; un ultimo caso ha l'obiettivo di innovare dalle fondamenta la filiera progettuale ed

edilizia, sfruttando il potenziale dei dati ai fini della tracciabilità e della sicurezza di materiali e componenti.

La lettura orientata a diversi focus evidenzia come gli strumenti digitali possano supportare la transizione circolare in fasi e a scale diverse, partendo da una semplice facilitazione del riuso materiale nel mondo fisico e arrivando a una riconcezione della filiera del progetto in senso strettamente informatico. Gli esempi proposti gettano anche luce sui diversi valori alla base di queste operazioni: le operazioni più semplici, 'low cost' e 'low tech' partono spesso dal basso, dall'iniziativa di piccoli studi o singoli progettisti, come conseguenza di una ricerca tanto orientata alla sostenibilità quanto all'innovazione creativa: sono quindi sistemi collettivi finalizzati a una progettazione 'di dettaglio', alla piccola scala e, pertanto, costituiscono interessanti sperimentazioni che, tuttavia, sono destinate ad avere un impatto relativo sui grandi numeri dell'industria. Quelle più complesse e tecnologicamente avanzate possono spesso contare sulle risorse di grandi organizzazioni o finanziamenti e hanno obiettivi di ampio raggio, sistemici e decisamente prestazionali, con il potenziale di impattare in misura importante sulla gestione delle risorse nel settore.

Tra le piattaforme ideate 'dal basso', alcune propongono un'interessante accezione della circolarità, che non solo prende in carico la necessità di riutilizzo di materiali e componenti, ma integra questa esigenza alla fase progettuale attraverso la creazione di banche dati, collettive e incrementali, di progetti di componenti open source, concepiti con una tecnologia universale in modo da essere riutilizzati in vari cicli di vita e tenuti in circolazione in combinazioni compositive sempre nuove.

Il progetto WikiHouse² (Fig. 1), avviato dal collettivo britannico Architecture 00, è un sistema aperto che offre gratuitamente progetti per case di legno, semplici e facilmente personalizzabili e adattabili a diversi contesti. I disegni tecnici digitali

di ogni componente costruttivo sono liberamente disponibili in una libreria collaborativa, che gli utenti possono ampliare con nuovi elementi. WikiHouse intende promuovere l'utilizzo di materiali abbondanti e standardizzati, e la creazione di architetture facilmente 'aggiornabili' nel tempo grazie alla modularità dei componenti e al sistema tecnologico universale (Figg. 2-4), che ottimizza la costruzione esistente e i materiali impiegati. Grazie alla diffusione consentita dalla rete il progetto democratizza l'accesso a un'architettura sostenibile e di qualità.

Diverse piattaforme digitali in Europa presentano variazioni sul tema del marketplace, consentendo l'incontro di domanda e offerta di materiali e componenti da costruzione di recupero sfruttando la possibilità esponenziale di connessione offerta dalla rete. Una delle prime piattaforme di questo tipo è stata Harvest Map³ (Fig. 5), sviluppata da Superuse Studios (allora 2012 Architecten) a partire dal 2008. Superuse Studios conduce la propria attività progettuale intorno all'idea di un'architettura a km zero, raccogliendo i prodotti e materiali impiegati nella realizzazione delle proprie architetture tra quelli già presenti e in attesa di riutilizzo nell'ambiente costruito prossimo all'area di progetto (van Hinte, Peeren and Jongert, 2007). Quest'idea di raccolta è integrata in Harvest Map, dove sono presenti annunci di materiali e componenti edilizi di scarto, che vengono resi disponibili per il riuso al fine di prevenirne la dismissione.

Un esempio simile è costituito dalla piattaforma tedesca Restado⁴ (Fig. 6), che ha sviluppato l'idea in un marketplace decisamente più strutturato, integrato dalla piattaforma Concular⁵, che supporta i progettisti che vogliono operare impiegando materiali di riuso con uno strumento di match-making basato su un algoritmo che individua nel database possibili componenti e materiali sulla base di richieste progettuali.

La piattaforma italiana RE-sign⁶ (Fig. 7) pone l'accento sulla necessità di connessione e scam-

bio di dati tra demolizioni in corso e costruzioni in programma, sia per costruire un'infrastruttura di tracciabilità dietro ai cantieri, ai materiali e ai componenti da costruzione, sia per individuare da subito possibilità di riuso evitando la giacenza del materiale, che ne impedisce il riutilizzo a norma di legge. Accanto al marketplace, RE-sign fornisce un hub per individuare professionisti del riuso e un archivio digitale di 'architetture circolari', per attivare sinergie tra risorse materiali, idee creative e professionalità; la piattaforma, inoltre, è impiegata come strumento nell'ambito di percorsi didattici universitari orientati al progetto di riuso (Fig. 8).

Madaster⁷ è una piattaforma che insiste sulla necessità della tracciabilità delle caratteristiche di materiali e componenti edilizi per il loro riutilizzo: rilascia un 'passaporto' per i materiali, un documento che raccoglie tutti i dati dimensionali, fisici, tecnologici, prestazionali di ogni singolo elemento architettonico impiegato in una costruzione, così come una panoramica del suo impatto ambientale (ECESP, 2021) in modo che ogni componente sia, in futuro, riutilizzabile in maniera conveniente e sicura. Madaster, finanziato dal programma Horizon2020, raccoglie questi dati in una 'biblioteca', garantendo la tracciabilità e l'identificazione di ogni componente attraverso i diversi cicli di vita che attraverserà. Il sistema proposto è prettamente digitale e decisamente rivoluzionario: riconcepisce il processo progettuale dalle fondamenta, e al modello lineare sostituisce una concreta possibilità di circolazione continua di materiali e componenti.

Il settore museale e allestitivo verso una transizione sostenibile | La transizione ecologica e la transizione digitale appaiono due sfide indissociabili (European Commission, 2022), tuttavia in ambito allestitivo ancora raramente la mediazione informatica si è posta al servizio della sostenibilità: il sistema museale si è finora concentrato sulle opportunità delle tecnologie digitali in termini principalmente fruitivi, facilitando esperienze interattive e immersive coinvolgenti (Rosa, 2003) o sfruttando i dati come dimensione sensoriale (Bach et alii, 2018). La sempre più diffusa digitalizzazione dei contenuti e la smaterializzazione dei supporti allestitivi ha avuto come conseguenza un risparmio notevole in termini economico-ambientali, avendo eliminato gran parte delle strutture fisiche espositive (Ahmed, Qaed and Almurabati, 2020).

Eppure gli scarti degli allestimenti museali impattano ancora oggi notevolmente: una volta smontati, essi sono spesso dimenticati, stoccati con ulteriori costi di gestione degli spazi o buttati con un enorme spreco di materiali. Si pensi, a titolo esemplificativo, che La Triennale di Milano ha speso oltre 1,5 mln di euro nel 2019 e ben 1,8 mln di euro nel 2020 per sostenere i costi⁸ delle mostre (costi comprendenti tutto l'indotto delle esposizioni, dalla realizzazione dell'allestimento alla movimentazione delle opere, dalla manutenzione alla progettazione). Questo circolo vizioso impatta, ovviamente, anche in termini ambientali e non solo economici, tanto che ormai l'urgenza di affrontare il problema è stata rilevata da numerosi organismi e associazioni europee.

È del 2020 l'istituzione della Gallery Climate Coalition⁹ (Fig. 9), organizzazione londinese no-profit che, per affrontare la crisi climatica, ha proposto il carbon calculator, uno strumento gratuito disponibile online capace di calcolare l'impatto

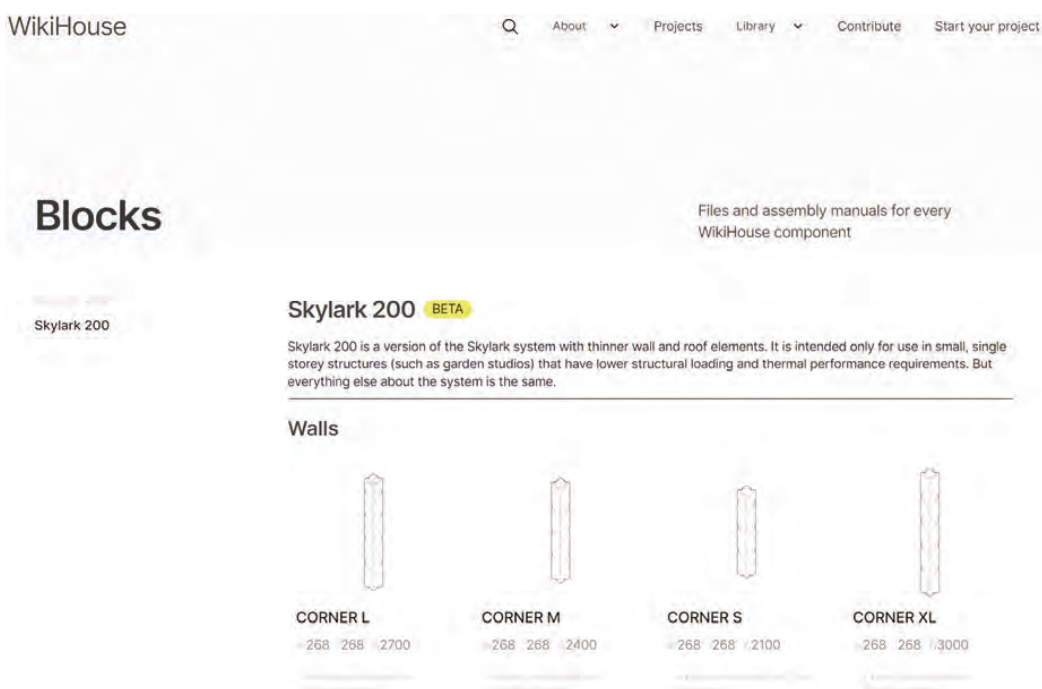


Fig. 1 | WikiHouse, website, library page (source: wikihouse.cc, 2022).



Figg. 2-4 | WikiHouse, a stage in assembling a prototype of the WikiHouse Skylark building system (credit: J. Watts, 2022).

ambientale delle gallerie in termini di produzione di CO₂ (Nastro, 2021; Maida, 2021). Similmente la Federal Cultural Foundation ha avviato nel 2020 un progetto che consente a 19 musei e organizzazioni artistiche tedesche di tenere sotto controllo le proprie emissioni, agendo su gestione delle strutture e mobilità, viaggi dei visitatori, viaggi d'affari e logistica dei trasporti (Leibing and Blaim, 2020).

In Italia, invece, è del 2021 un'analisi di ICOM (International Council of Museums) Lombardia¹⁰ volta a mappare le esperienze di riciclo e di mobilità sostenibile in ambito museale, anche se la legislazione appare ancora impreparata: non esistono attualmente norme e politiche ufficiali che aiutino i musei a intraprendere una transizione ecologico-digitale. Si pensi che la prima normativa sugli eventi sostenibili è solo del 2012 e il primo evento su larga scala ad applicarla è stato l'Expo 2015, con i programmi di riutilizzo dei padiglioni (ISO 20121, 2012). Siamo, inoltre, ancora in attesa di un 'piano di dopo-vita' del manufatto allestitivo e di un Green Management (Rota, 2019) che promuova un approccio sistemico eco-driven e l'introduzione di nuove professionalità per guidare la transizione digitale.

Solo recentemente qualcosa si sta muovendo sul fronte delle politiche ministeriali: è in via di ap-

provazione il CAM (Criteri Ambientali Minimi) del Ministero della Transizione Ecologica in merito agli eventi appaltati da Enti pubblici, che da fine 2022 darà indicazioni specifiche anche per l'allestimento¹¹. Il PNRR¹² (Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza) intende invece investire nel capacity building per gli operatori della cultura al fine di gestire la transizione digitale e verde, prevedendo ben 155 milioni di euro destinati a «[...] sostenere la ripresa delle attività culturali, incoraggiando l'innovazione e l'uso della tecnologia digitale in tutta la catena del valore; favorire l'approccio verde in tutta la filiera culturale e creativa» (MIC, 2022).

Nonostante l'analisi faccia emergere i musei come attori strategici per supportare la transizione ecologica, la transizione digitale in tale settore non ha ancora avuto ricadute sistemiche capaci di indurre un impatto realmente capillare sul piano ambientale. Solo recentemente alcuni progetti più all'avanguardia, oggetto della successiva trattazione, hanno iniziato a proporre delle prime soluzioni efficaci, scalabili e replicabili.

Piattaforme di riuso per l'exhibit design: lettura di un contesto in evoluzione | Nell'ambito dell'exhibit alcune buone pratiche risultano emblematiche perché, seppur ancora sporadiche, ap-

paiono capaci di fornire indirizzi di innovazione per la sostenibilità e la circolarità del settore. L'analisi dei casi che segue è organizzata secondo due categorie, quella dei progetti di rete, di sharing e riciclo, e quella di progetti che innovano il sistema-servizio grazie allo sviluppo di piattaforme digitali più sperimentali. La lettura proposta è cronologica per far emergere progressivamente il ruolo del digitale e in particolare delle piattaforme web, che consentono replicabilità e scalabilità assicurando un impatto decisamente maggiore. Infine si consideri che i casi analizzati fanno riferimento principalmente all'ambito museale, ma anche al settore artistico e degli eventi temporanei perché le problematiche espositive risultano affini.

I valori di originalità per cui i casi sono stati selezionati sono molteplici: perché capaci di proporre nuovi modelli gestionali e di sostenibilità economica, nuovi modelli organizzativi, nuove forme di collaborazione tra gli attori del settore o nuove modalità di interazione con il pubblico; sono, inoltre, progetti in grado di favorire sinergie intra-museali. In definitiva, pur con accezioni differenti, si configurano tutte come occasioni per sostenere la cultura (impronta sociale), per migliorare l'impatto ambientale (impronta ecologica) e aiutare il sistema stesso a implementarsi (impronta economica).

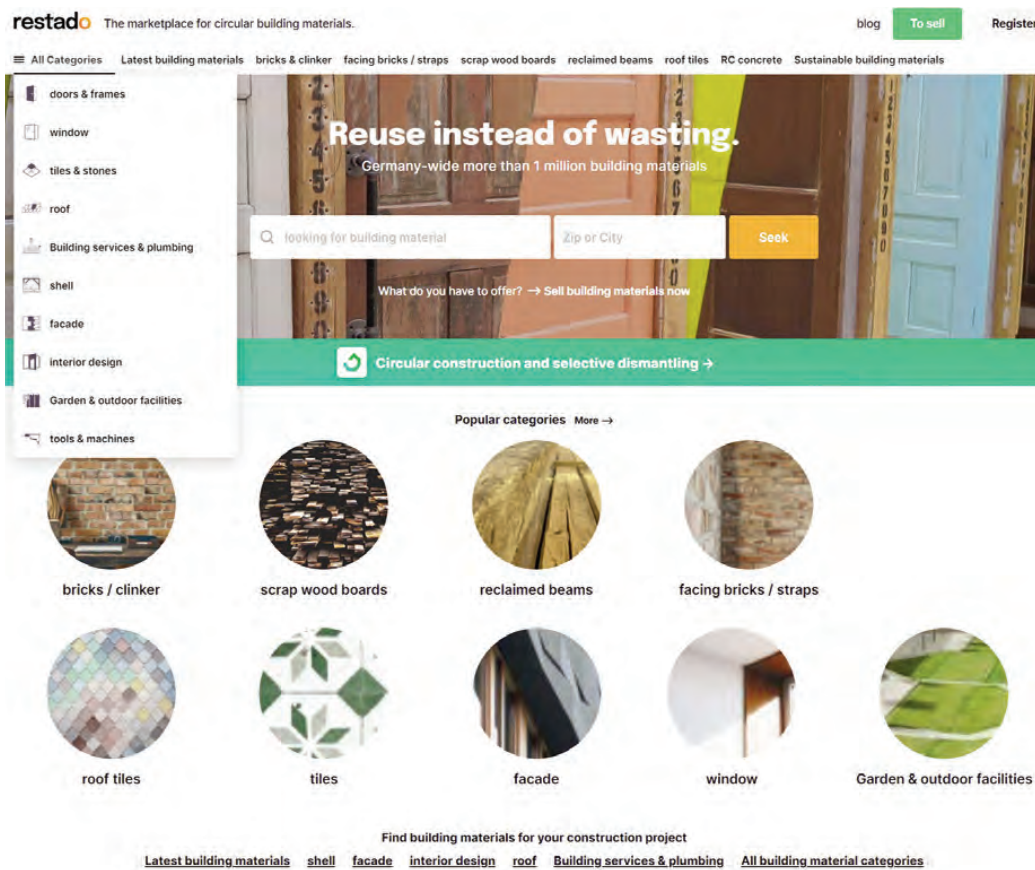
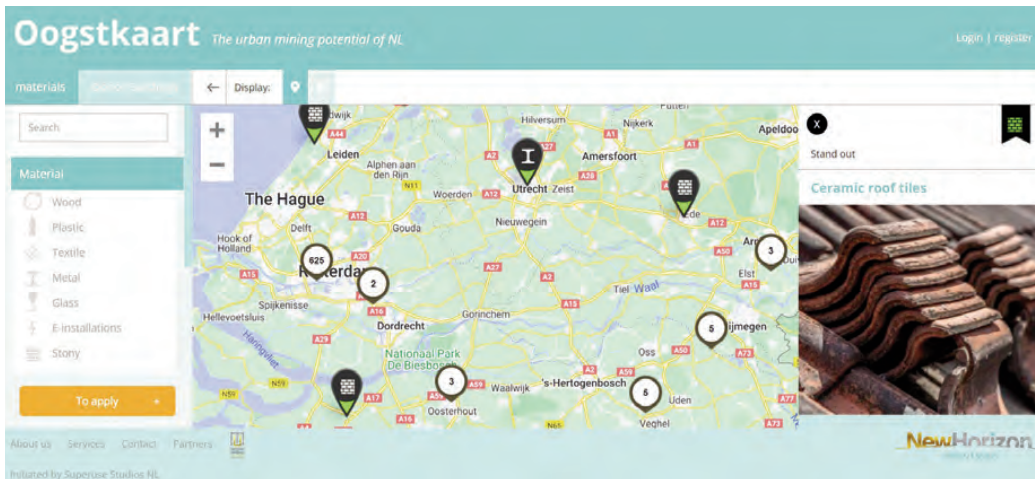


Fig. 5 | Harvest Map, website, homepage (source: oogstkaart.nl, 2002).

Fig. 6 | Restado, website, homepage (source: restado.de, 2022).

Tra le prime esperienze di servizio interessanti per la capacità di sfruttare le potenzialità del riuso e di instaurare nuove sinergie tra gli attori del sistema si ricorda il progetto Materials for the Arts. Si tratta del più grande centro di riuso di New York City dedicato a organizzazioni artistiche e culturali¹³ (Fig. 10); è un programma nato nel 1978 e promosso dal Dipartimento degli Affari Culturali della città di New York. Lo spazio, ancora oggi attivo, ha raccolto solo nel 2018 ben 1,7 mln di kg di materiali riutilizzabili da aziende e privati in cinque diversi distretti della città. Questi materiali sono poi stati messi gratuitamente a disposizione di scuole pubbliche, di agenzie cittadine o di organizzazioni no-profit per la realizzazione di programmi artistici. Il servizio, per quanto virtuoso, non è ancora ottimizzato su una piattaforma digitale di sharing che potrebbe implementarne l'impatto.

Hanno seguito quest'esperienza una serie di altri progetti che, pur nella continuità di indirizzo, si differenziano perché figli di iniziative imprenditoriali private o del Terzo Settore, per il momento privi di supporto governativo, e quasi tutti (tranne Re-Biennale) strutturati come servizi a pagamento. Nel 2008 nasce in Francia il progetto La Reserve des Arts – Pour une Création Circulaire et Solidaire¹⁴, promosso da un'associazione che incoraggia i professionisti dei settori della cultura, dell'artigianato e dell'arte a sostenere un'economia circolare attraverso il reimpiego dei materiali da loro scartati. Oggi l'associazione organizza attività didattiche e di sensibilizzazione e attraverso una piattaforma digitale vende materiali di riciclo, fornendoli al kg e in base all'area geografica di riferimento (Fig. 11). Lo stesso modello è stato importato in Italia nel 2021 da Spazio META¹⁵, start-

up che propone un servizio a pagamento di ritiro di materiali e strutture utilizzati per set, mostre e installazioni, successivamente raccolti, (ri)lavorati e infine esposti per la vendita al pubblico (Fig. 12). Si consideri che, ogni anno, META recupera e ridistribuisce oltre 16 tonnellate di materiali altrimenti destinati al macero. Attualmente la vendita dei prodotti avviene solo presso la sede di Milano Bovisa e non online; questo limita il mercato di riferimento e ostacola il possibile sviluppo del progetto; è pertanto verosimile attendersi una evoluzione dello stesso sulla base del modello francese.

L'iniziativa Re-Biennale¹⁶, come anticipato, non si configura come un servizio al mercato ma come una esperienza di 'attivismo progettuale', dichiarandosi piattaforma collaborativa creata da una rete di cittadini veneziani, studenti, architetti, artisti e attivisti politici nata nel 2008, in occasione della XI Mostra Internazionale di Architettura di Venezia. La Mostra ha promosso la sperimentazione progettuale a partire da un riutilizzo virtuoso dei materiali e la realizzazione di progetti sociali coinvolgenti un ampio pubblico e mirati a valorizzare gli scarti recuperati per un interesse collettivo. Le esperienze già maturate sono raccolte in un sito web, ma non esiste una vera e propria infrastruttura digitale per la promozione e gestione dell'attività (Fig. 13) che permetterebbe alla stessa di estendersi in una sfera di azione sovralocale.

A parte la sperimentazione francese, sono ancora pochi i progetti di piattaforme digitali rilevanti ai fini di questa ricerca: si segnala CAN – Circular Arts Network¹⁷, una piattaforma collaborativa volta a suggerire nuove forme d'arte introducendo il tema del riuso e del riciclo (Fig. 14). Nata nel 2020 e gestita da Sculpture Placement Group, un'organizzazione specializzata in arti e sostenibilità, fornisce le risorse necessarie per i progetti attraverso un ambiente digitale per lo scambio di beni materiali e immateriali (es. trasporti, attrezzature, tempo). CAN incoraggia così il riuso in tutte le forme d'arte e lavora mettendo in contatto persone, organizzazioni e industrie (in particolare quella edile e quella manifatturiera), aiutando le comunità creative ad accedere ai loro materiali in eccedenza e sostenendo l'industria verso processi più sostenibili.

Infine, tra le esperienze più evolute che sfruttano le potenzialità proprie del digitale per agire a livello sistemico sul settore dell'allestimento e per suggerire nuove pratiche d'uso, è interessante il caso di Non Si Butta Via Niente¹⁸, capace di porre in dialogo le istanze della transizione ecologica con gli strumenti e con le innovazioni della transizione digitale. Non Si Butta Via Niente si configura come la prima rete intra-museale per il riuso e riciclo di risorse che agisce sulla condivisione di sistemi espositivi altrimenti destinati a stoccaggi o smaltimenti onerosi. Il progetto – incubato nel 2021 dal programma Innovamusei di Cariplo Factory – intende favorire un processo di rigenerazione creativa di manufatti allestitivi, parzialmente o totalmente riutilizzabili grazie a una piattaforma web di mutua collaborazione. La piattaforma vede oggi la partnership di vari Enti locali (tra cui La Triennale di Milano e, in prospettiva, Gallerie d'Italia) che hanno intuito la necessità di pensare l'allestimento secondo una visione più responsabile a livello sia ambientale che economico.

Oltre a queste Istituzioni di rilevanza nazionale o sovra-nazionale l'iniziativa ha recentemente cat-

turato anche l'interesse del Comune di Milano (Senesi, 2022), che intende promuovere l'intera gestione dei Distretti del Fuorisalone attraverso tale piattaforma. La gestione del sistema informatico, curata dall'omonima start-up e società benefit milanese, prevede diversi pacchetti di tesseraamento (small, medium e large) in base ai quali i musei partner possono usufruire di servizi di stoccaggio, noleggio, personalizzazione, consulenza e didattica (Fig. 15).

Sono già numerose le attività previste (e in parte avviate) dalla start-up: è in corso di aggiornamento un abaco comune di materiali prodotti da scarti e rifiuti di allestimenti pregressi; è in fase di progetto una mostra sulla nuova estetica della sostenibilità; è già stato strutturato un centro per la ricerca sperimentale (Fig. 16) e la produzione di allestimenti in materiali riciclati. Non Si Butta Via Niente si pone, dunque, come un nuovo 'service della cultura', un vero e proprio osservatorio sulla sostenibilità volto alla diffusione di nuove e buone pratiche a livello sistemico, all'insegna della responsabilità ecologica e della progettazione inclusiva.

Dall'analisi qui condotta emerge il proliferare di sperimentazioni episodiche e di iniziativa privata, ma di contro l'assenza di un sistema organico di piattaforme digitali evolute a supporto della transizione ecologica. In uno scenario di breve-medio periodo questa situazione è destinata a mutare, poiché la strutturazione di tali infrastrutture permetterà un'evoluzione sostenibile del settore espositivo, facilitando inoltre un coinvolgimento istituzionale ad oggi scarsamente incisivo.

Un ulteriore livello di criticità rilevata riguarda la riduzione della transizione digitale alla mera elaborazione di una piattaforma online di condivisione di beni e servizi, che non approfondisca ed esplori le piene potenzialità del digitale, verso una trasformazione della progettazione, della produzione e forse anche della fruizione finale dell'allestimento. A fronte delle fragilità di sistema rilevate si può sottolineare il carattere innovativo e originale dell'indagine che sta mappando uno scenario solo ora in itinere: il settore dell'exhibit appare ancora decisamente in ritardo e sta cercando di 'recuperare il terreno perduto', consapevole dell'urgenza di trovare – o tracciare – nuove strade per la sostenibilità.

Conclusioni | La transizione circolare è sempre più urgente per allineare il progresso dei settori della progettazione architettonica e dell'exhibit design agli obiettivi di sviluppo sostenibile fissati dall'ONU e dall'UE, e gli strumenti digitali hanno il potenziale per promuovere questa transizione. Dalla trattazione emergono diversi punti in comune tra le linee di sviluppo dei due settori. Una prima osservazione che accomuna i due ambiti registra la mancanza di un approccio sistemico a una gestione sostenibile e circolare delle risorse materiali. Appare evidente, ad esempio, che il settore dell'allestimento non abbia ancora affrontato con la dovuta consapevolezza le problematiche di sostenibilità causate dagli sprechi generati dalla produzione, dai trasporti e dalla mancanza di programmazione del fine-vita dei manufatti allestitivi, lasciando per lungo tempo l'iniziativa all'intraprendenza dei singoli. Alla scala dell'architettura, dove la questione della sostenibilità e dell'inefficienza materiale è invece sull'agenda da tempo, almeno nella ricerca, le piattaforme digitali costituiscono

indubbiamente passi avanti nella costruzione di un nuovo know-how, ma andrebbero integrate, in una prospettiva sistemica, nella 'riorganizzazione e ripensamento dei confini della filiera delle costruzioni' (Campioli et alii, 2018).

Un'altra convergenza tra i due settori è il modello di circolazione dei materiali proposto dai marketplace digitali analizzati, che hanno interfacce simili e lo stesso principio di funzionamento. Si rileva, nell'ambito di queste iniziative, una scarsa visibilità data ai loro esiti, così come una difficoltà a sistematizzare gli strumenti per affrontare la circolarità dei componenti e un loro possibile riuso già in fase progettuale, e non solo dopo la loro dismissione.

In relazione alle cause della generale arretratezza rilevata e alle barriere che possono limitare la replicabilità e scalabilità delle buone pratiche indagate è possibile formulare alcune ipotesi. In merito al progetto d'architettura, ragioni strutturali sono alla base della difficoltà di integrazione dei diversi strumenti digitali per la circolarità all'interno

di processi estremamente complessi, normati e rigidi. La normativa di settore sembra andare nella direzione di una ridefinizione sistemica di tali processi in chiave sostenibile, seppur con tempistiche molto lunghe, che collocano ancora lontana nel tempo la definizione di regole operative per il riuso in una prospettiva circolare.

Per quanto riguarda l'exhibit design, oltre alle barriere normative e alla generale carenza di indirizzi politici incentivanti l'adozione di progettualità sostenibili, è necessario considerare altre barriere al cambiamento, quali quelle di natura culturale, insite nella tradizione di un 'saper fare' che fatica a rinnovarsi. Il settore del progetto d'architettura presenta in parte queste barriere culturali, così come presenta diffusi pregiudizi rispetto alla qualità, alla sicurezza e al valore dei componenti di recupero: strumenti digitali di tracciamento possono rivelarsi determinanti nel superamento di questa barriera.

Dall'analisi si rileva, inoltre, che l'avanzamento nei due settori è determinato principalmente da

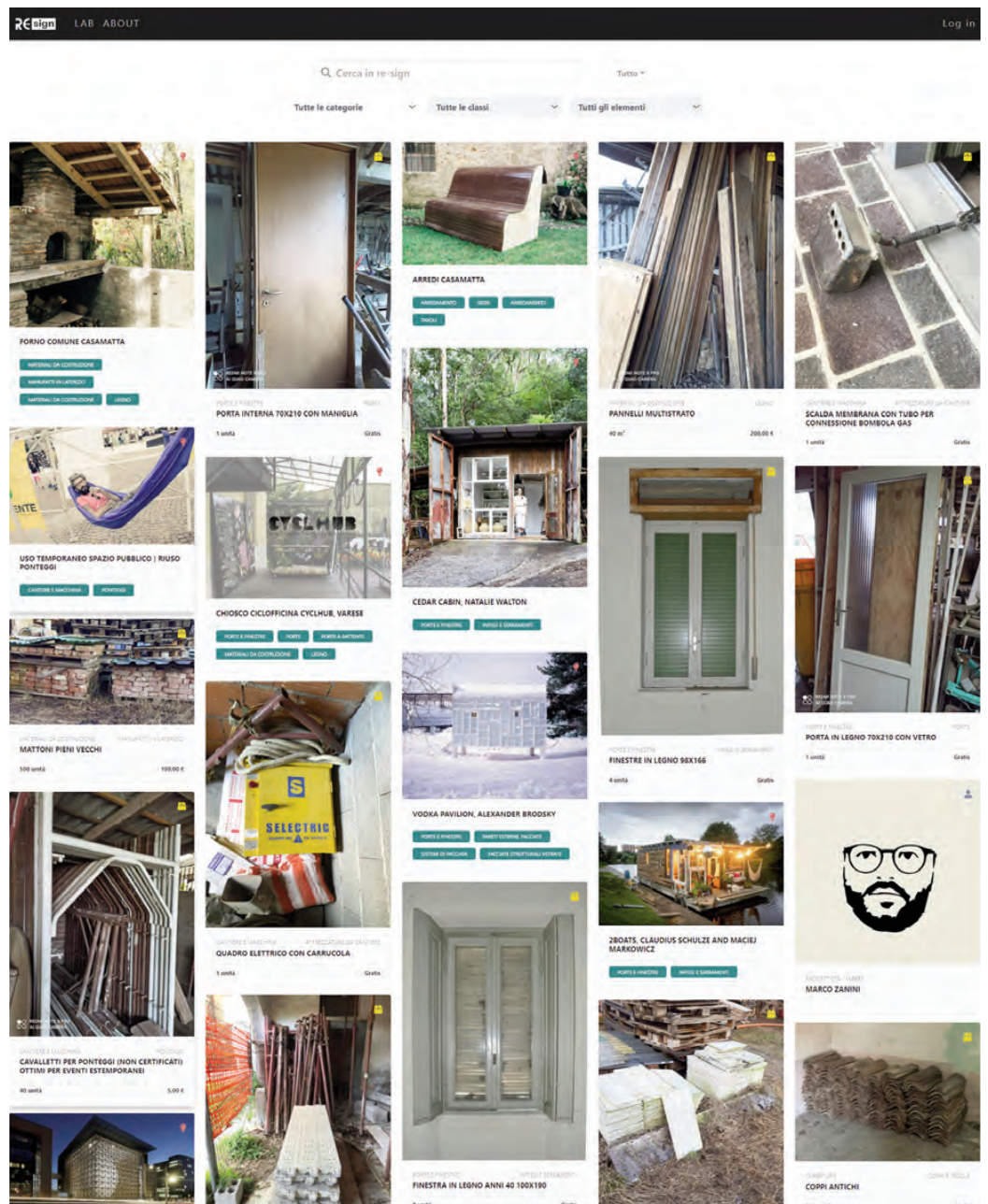


Fig. 7 | RE-sign, website, homepage (source: re-sign.it, 2022).



Fig. 8 | A phase of the Workshop of Thesis conducted in 2021 at Casamatta – Legambiente Varese, in Malnate (VA), AUIC School – Politecnico di Milano: the workshop envisaged the design and realisation of perimeter walls using reclaimed doors and windows and building components, identified in the area through the RE-sign platform (credit: M. Zanini, 2021).

iniziative private più che pubbliche, ma la promozione di nuovi e dedicati canali di finanziamento fa intuire un cambiamento di direzione. In tal senso appare di rilevanza strategica la codifica di innovativi modelli virtuosi di governance pubblico-privato (Russo, 2021), capaci di promuovere interventi integrati e sistemici.

Infine dallo studio emerge che innovazioni e approcci circolari già integrati nella ricerca e nella pratica d'architettura potrebbero essere utilmente traslati al campo dell'allestimento, accelerando la transizione circolare del settore: in primo luogo il sistema di tracciabilità di materiali e componenti proposto da piattaforme come Madaster nel campo dell'architettura può essere adeguatamente adattato e applicato anche nell'ambito dell'exhibit design, tracciando i contorni di una possibile 'banca dati' universale della materia, dove materiali e componenti sono riutilizzati in maniera trasversale in ambiti differenti e attivano sinergie tra diversi campi del progetto.

Un'idea di tracciabilità e, di conseguenza, di più cicli di vita possibili per le risorse materiali va di pari passo a un altro approccio già abbracciato dal settore della progettazione architettonica che il campo dell'exhibit potrebbe senza dubbio adottare: il design for disassembly, ovvero lo sviluppo di progetti che integrino in partenza la possibilità di riutilizzarne i componenti o che la programmino già, individuando fin dalle prime fasi del processo progettuale un successivo utilizzo per le risorse impiegate. Un approccio di questo tipo si basa sulla temporaneità del progetto d'allestimento, i cui componenti, grazie a cicli di utilizzo molto brevi, possono essere sfruttati in contesti e condizioni diverse; questa possibilità trasforma la condizione effimera del manufatto allestitivo in un punto di forza nella prospettiva di riuso.

Within the different meanings identified by the 17 Sustainable Development Goals of the UN 2030 Agenda, sustainability is an open challenge that several productive sectors are only beginning to address. In particular, the circular transition, one of the central themes of the European Green Deal (European Commission, 2019), appears urgent in the light of the current energy crisis and the depletion of raw materials; it finds wide space in the debate within the design disciplines (Baiani and Al-

tamura, 2018; Epifani, 2020; Giglio, Lauria and Lucarelli, 2021; Losasso, 2021), albeit with different specificities. Architectural and urban design research has long been working towards the innovation of design and construction paradigms in a sustainable and digital sense, but the practice also offers several examples of both adaptive reuse and reuse of building components and materials (Ciorra and Marini, 2011; Choppin and Delon, 2014). On the other hand, exhibition design still struggles to translate digital innovation into circular exhibitions, remaining anchored to codified but obsolete creative and managerial practices¹. Even if more and more exhibitions promote the values of sustainability, paradoxically, still few of them have adopted tools and strategies to concretise these values into replicable and scalable design solutions.

According to a recent estimate by the European Commission, the construction sector is responsible for half of the raw material extraction, half of the energy consumption, a third of the water consumption and a third of the waste produced in the European Union (European Commission, 2021). Considering the long-term perspective of architectural and building design, there is an urgent need to develop supply chains and systems that are as integrated as possible and optimise the use of material resources throughout a building's life cycle, right up to its decommissioning. On the other hand, the discipline of exhibit design intrinsically reasons on a limited temporal dimension: the exhibit has an ephemeral nature. It is designed to only last a short time and for specific contexts and sites. Its uniqueness in relation to the event makes it difficult to replicate; also, for this reason, it becomes strategic to explore innovative processes for a sustainable approach, where recycling and recovery are combined thanks to digital mediation.

Aimed at designers and public decision-makers, this paper examines the role that digital transition can play in this circular perspective: a synergic reading of the two sectors illustrates how digital tools can intervene in building and exhibition components' life cycle, promoting sustainable development. At the methodological level, the essay analyses, in a survey of international scope, practices of service and process innovation in a private or public matrix, structured in a parallel reading between the architectural and exhibit spheres to identify their tangencies, recurrences and dissimilarities. This introduction, which outlines the contours of the question of the urgency of a circular transition for the design disciplines, is followed by two successive analyses of the two areas under investigation: the architectural project and the exhibition project.

Each of the two analyses presents a first paragraph outlining the stage of advancement of research and practice towards circularity in the specific field; a second paragraph illustrates the most significant and innovative experiments underway in the relevant field, sometimes already codified in replicable practices, which demonstrate the potential of digital systems for a circular and sustainable transition in each of the two disciplines. A concluding paragraph closes the discussion by linking the parallel analysis in a reading of the ethical innovations and crucial barriers common to the two fields, suggesting possible synergies be-

tween the reuse chain of architectural design and exhibit design.

The objective is to investigate the role of IT tools in defining collaborative strategies able to produce a systemic impact, and highlighting solutions capable, in the short term, of promoting new resource-sharing policies. The essay proposes an investigation into the role of the project as a mediator of transition, capable of leading to greater pooled sensitivity and the codification of new devices-platforms-services that are increasingly sustainable. In particular, it intends to reflect on the role of digital platforms in supporting a circular perspective; several networked sharing projects born in recent years are, in fact, examples of how the digital transition can generate important process innovations: IT tools have the potential to open up innovative fields of action, exploiting the possibilities of connection – without the need for physical proximity – between data, goods and stakeholders to solve system inefficiencies, create new opportunities for exchange in the management of material resources and define a solid reuse chain.

Potentialities and barriers to the circular transition of the architectural project

In the field of architecture, digital innovation has revolutionised the way of designing and building over the last thirty years, making the creative and construction process increasingly efficient thanks to drawing and modelling software. The use of BIM technology, in particular, represents a significant step towards a general rationalisation of the use of resources within architectural projects: BIM manages «[...] large amounts of data, thus contributing to the design of information about the sustainability of the decisions [...], supporting the several choices that a technician or user is obliged to carry out in the perspective of circularity not only during the life of the building but also in the subsequent stages of demolition and recovery of components and materials» (Franchino, Frettoloso and Pisacane, 2019, p. 48). The potential of BIM technology for reusing building components and materials is not systematically applied in a structured recovery chain, an increasingly urgent need in a construction sector that, in Italy alone, produces 45.1% of special waste every year (ISPRA, 2022). Of this amount, 77.9 per cent is prepared 'for reuse, recycling and another material recovery' (ISPRA, 2022), a loose term that generally indicates recovery operations that have minimal impact on construction processes, such as incineration for energy production (European Commission, 2008, L312/13).

This massive waste of resources corresponds, of course, to a substantial loss of value in economic terms, the extent of which is difficult to quantify (Giorgi, Lavagna and Campioli, 2019) precisely because of the current structure of the disposal system, which, at least in Italy, disposes of waste in macro-categories and does not allow for the disaggregation of data. The disposal costs of construction and demolition waste are already calculated and integrated upstream in the construction costs; there is no systematisation of the procurement and certification of recovered materials, nor a universal price list or a formally specialised disassembly workforce, whose craft, therefore, has no measurable cost. Therefore, the

rigidity of this system preserves linear processes in which material performance is certified and prices are predictable.

From a regulatory point of view, European directives, later transposed into national law, have long been oriented towards loosening the rigidity of building processes towards material recovery, albeit with highly long timeframes. Looking forward, the Directive 2018/851/EU will broaden the impact of the already mentioned Directive 2008/98/EC, stating that by 2024 the Commission will assess «[...] the setting of preparing for reuse and recycling targets for construction and demolition waste and its material-specific fractions» (European Commission, 2018, L 150/130) and introduce measures «[...] to facilitate reuse and high-quality recycling by selective removal of materials, and to ensure the establishment of sorting systems for construction and demolition» (European Commission, 2018, L 150/129).

Therefore, in architecture, the reuse of components and materials is carried out at the initiative of the promoters of building processes, leading a complex procedure through the meshes of regulations, established processes and cultural prejudices about reuse. There is, therefore, a gap between the existing fervour in research and debate around the sector's circular transition and what is possible in practice. The digital tools that exist to date, illustrated in the following section, undoubtedly constitute a step forward for the circular transition of the architectural sector, responding to the central issues (Giorgi, 2020) of the question: on the one hand, they give visibility and widespread accessibility to reusable resources, on the other hand, they work in the direction of traceability of building components, in order to make reuse a safe, codified and integrated operation in design and construction processes.

Digital platforms for reuse in architecture: different scales and impact objectives, from resource sharing to material 'passport' | Several digital platforms born in the last decade in Europe support the circular transition in the architecture and construction sector, developing different focuses. The contribution examines several case studies: the first case promotes the sharing of standardised component designs, pursuing the optimisation of resources already in the design phase; three cases develop, with different connotations, the idea of a marketplace for the exchange of building materials and components; the last case aims to innovate from the foundations of the design and construction supply chain, exploiting the potential of data for the traceability and safety of materials and components.

The reading, orientated towards different focuses, highlights how digital tools can support the circular transition in different phases and scales, starting from simple facilitation of material reuse in the physical world and arriving at a reconception of the project supply chain strictly in regard to IT. The proposed examples also shed light on the different values at the basis of these operations: the simplest 'low cost' and 'low tech' operations often start from the bottom, from the initiative of small firms or individual designers, as a consequence of a research-oriented as much towards sustainability as creative innovation: they are therefore collective systems aimed at 'detailed' design, at the

small scale, and therefore constitute interesting experiments which, however, are destined to have a limited impact on the large-scale industry. Those that are more complex and technologically advanced can often rely on the resources of large organisations or funding and have wide-ranging, systemic and decidedly performance-based objectives with the potential to significantly impact resource management in the industry.

Among the platforms devised 'from below', some propose an interesting interpretation of circularity, which not only takes into account the need

to reuse materials and components but also integrates this need into the design phase through the creation of collective and incremental databases of open source component designs, conceived with a universal technology to be reused in various life cycles and kept in circulation in ever new compositional combinations.

The WikiHouse² project (Fig. 1), initiated by the British Collective Architecture 00, is an open system offering free designs for wooden houses that are simple, easily customisable, and adaptable to different contexts. The digital technical

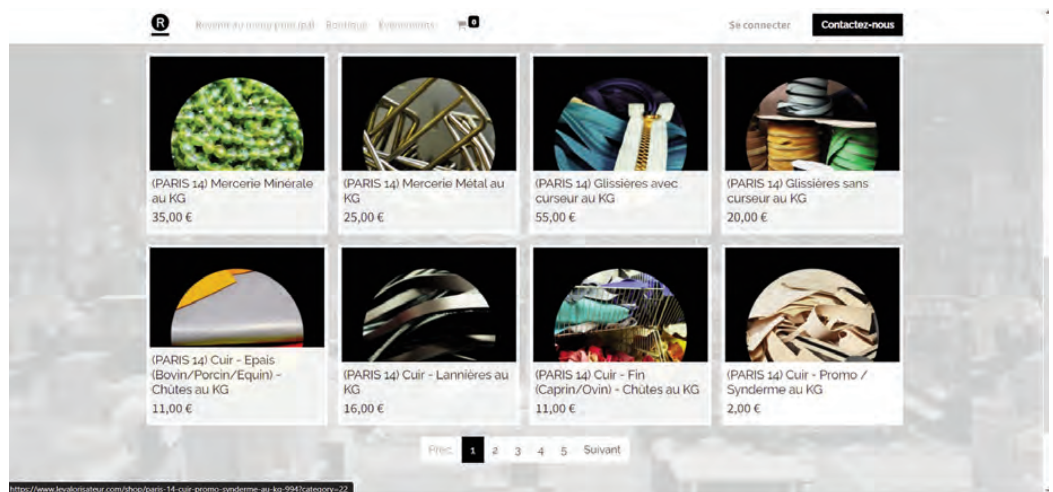
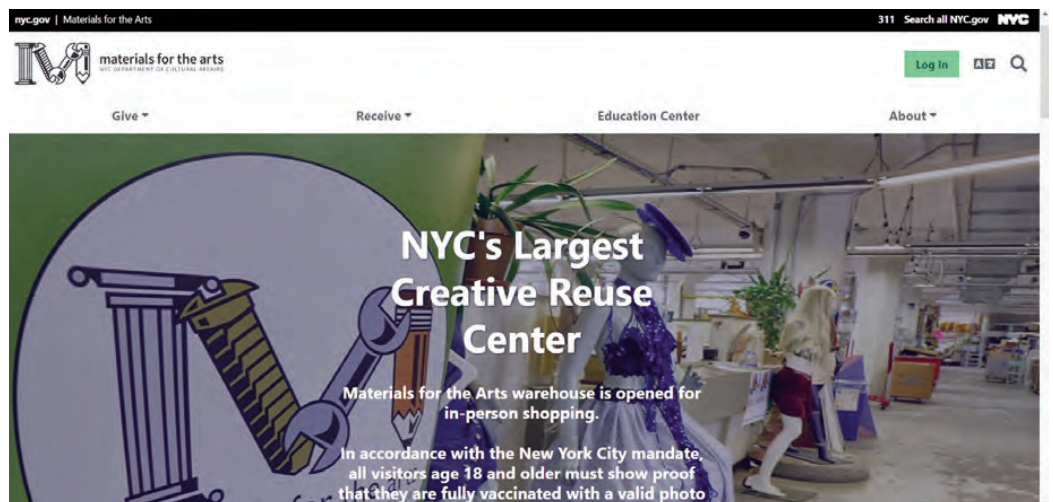
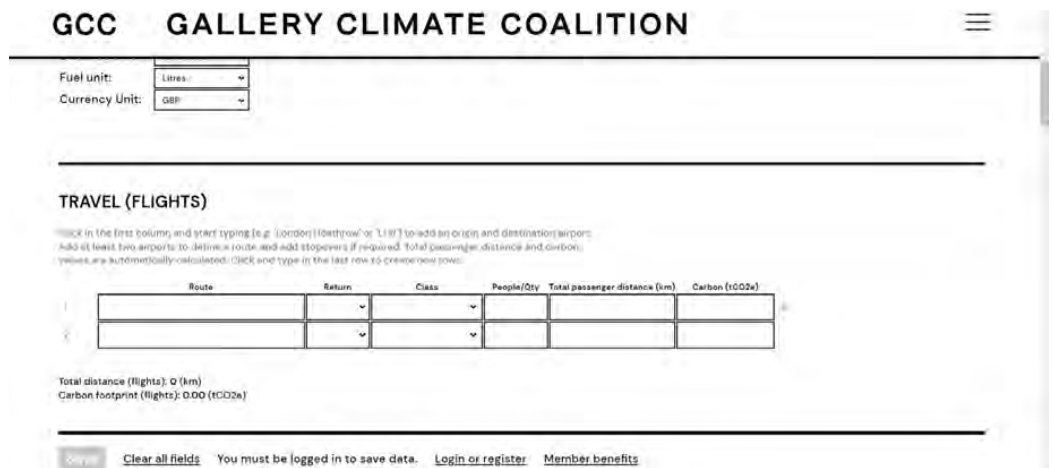


Fig. 9 | Gallery Climate Coalition, website, Carbon calculator (source: galleryclimatecoalition.org, 2022).

Fig. 10 | Material for the Arts, website, Homepage (source: materialsforthearts.org, 2022).

Fig. 11 | La Reserve des Arts, website, Marketplace Vitrine Paris (source: lareservedesarts.org, 2022).



Fig. 12 | Spazio META in Bovisa district, Milan (credit: M. Cason Villa, 2022).

drawings of each building component are freely available in a collaborative library, which users can expand with new elements. WikiHouse intends to promote the use of abundant and standardised materials and the creation of architectures that can be easily 'upgraded' over time thanks to the modularity of the components and the universal technological system (Figg. 2-4), which optimises the existing construction and materials used. Thanks to the dissemination enabled by the network, the project democratises access to sustainable, quality architecture.

Several digital platforms in Europe present variations on the marketplace theme, enabling the matching of supply and demand for reclaimed building materials and components by exploiting the exponential possibility of connection offered by the network. One of the first platforms of this kind was Harvest Map³ (Fig. 5), developed by Superuse Studios (then 2012 Architekten) starting in 2008. Superuse Studios conducts their design work around the idea of zero-km architecture, collecting the products and materials used to realise its architecture from among those already present and awaiting re-use in the built environment close to the project area (van Hinte, Peeren and Jongert, 2007). This idea of harvest is integrated into Harvest Map, where listings of discarded building materials and components are made available for reuse to prevent their disposal.

A similar example is given by the German Restado⁴ platform (Fig. 6), which has helped to develop the idea of a much more structured marketplace, complemented by the Concular⁵ platform, which supports designers who want to work with reused materials with a match-making tool based on an algorithm that identifies possible components and materials in the database based on design requests. The Italian RE-sign⁶ platform (Fig. 7) emphasises the need for connection and exchange of data between ongoing demolition and planned construction, both to build a traceability infrastructure for construction sites, materials and components and to immediately identify possibilities for reuse by avoiding the stockpiling of material, which prevents it from being reused in accordance with the law. In addition to the marketplace, RE-sign provides a hub to identify reuse professionals and a digital archive of 'circular architectures' to activate synergies between material resources, creative ideas and professionalism; the platform is also used as a tool within university educational paths oriented towards reuse projects (Fig. 8).

Madaster⁷ is a platform that insists on the need for traceability of the characteristics of building materials and components for their reuse: it issues a 'passport' for materials, a document that collects all the dimensional, physical, technological, and performance data of each architectural element used in construction, as well as an overview of its environmental impact (ECESP, 2021) so that each component can be reused in the future conveniently and safely. Madaster, funded by the Horizon2020 programme, collects this data in a 'library', ensuring the traceability and identification of each component through the different life cycles it will go through. The proposed system is purely digital and decidedly revolutionary: it reconceives the design process from the ground up, where the linear model is replaced by a concrete possibility of continuous circulation of materials and components.

The museum and exhibition sector towards a sustainable transition

The ecological transition and the digital transition appear to be two inseparable challenges (European Commission, 2022). Nevertheless, in the field of exhibition design, IT mediation has still rarely been put at the service of sustainability: the museum system has so far focused on the opportunities opened by digital technologies mainly for users' involvement, facilitating engaging immersive and interactive experiences (Rosa, 2003) or exploiting data as a sensory dimension (Bach et alii, 2018). The increasing digitisation of content and the dematerialisation of exhibition media has resulted in considerable savings in economic and environmental terms, eliminating most physical exhibition structures (Ahmed, Qaed and Almurbati, 2020).

However, museum exhibition waste still has a considerable impact today: once dismantled, it is often forgotten, stored with additional space management costs or thrown away, resulting in a significant waste of materials. As an example, La Triennale di Milano spent over 1.5 mln euros in 2019 and as much as 1.8 mln euros in 2020 to support the costs⁸ of exhibitions (costs that include all the satellite activities of the exhibitions, from the setting up to the handling of the works, from maintenance to design). This vicious circle obviously also impacts the environment and not only the economy, to such an extent that numerous European bodies and associations have now noted the urgency of dealing with the problem.

In 2020 the Gallery Climate Coalition⁹ was established (Fig. 9). It is a London-based non-profit organisation that, in order to tackle the climate crisis, introduced its carbon calculator, a free tool available online that calculates the environmental impact of galleries in terms of CO₂ production (Nastro, 2021; Maida, 2021). Similarly, the Federal Cultural Foundation launched a project in 2020 to enable 19 German museums and arts organisations to keep their emissions under control by acting on facility management and mobility, visitor travel, business travel and transport logistics (Leibing and Blaim, 2020). Meanwhile, in Italy, an analysis by ICOM (International Council of Museums) Lombardy¹⁰ aimed at mapping the experiences of recycling and sustainable mobility in museums dates back to 2021. However, the legislation still seems unprepared: no official regulations and policies currently exist to help museums un-

dertake an ecological and digital transition. It is worth noting that the first legislation on sustainable events only dates from 2012, and Expo 2015 was the first large-scale event that applied it, with its pavilion reuse programmes (ISO 20121, 2012). In addition, we are still waiting for an 'after-life plan' for the exhibition artefact and for a Green Management (Rota, 2019) that promotes an eco-driven systemic approach and the introduction of new professionalism to guide the digital transition.

Only recently is something moving on the ministerial policy front: the CAM (Minimum Environmental Criteria) of the Italian Ministry of Ecological Transition is being approved for events contracted by public bodies, which from the end of 2022 will also give specific indications for exhibition design¹¹. On the other hand, the PNRR¹² (National Recovery and Resilience Plan) intends to invest in capacity building for cultural operators in order to manage the digital and green transition, foreseeing as much as 155 million euros to support the recovery of cultural activities, encouraging innovation and the use of digital technology throughout the value chain; fostering the green approach throughout the cultural and creative supply chain (MIC, 2022). Even though the analysis highlights museums as strategic actors in supporting the ecological transition, the digital transition in this sector has not yet had systemic repercussions capable of inducing a pervasive environmental impact. Only recently some of the most avant-garde projects, which are the subject of the following discussion, have begun to propose initial effective, scalable and replicable solutions.

Reuse platforms for exhibit design: reading an evolving context

In exhibit design, some good practices are emblematic because, although still sporadic, they appear capable of providing innovative directions for the sustainability and circularity of the sector. The following analysis of these cases is organised according to two categories: network, sharing and recycling projects, and projects that innovate the service system thanks to the development of more experimental digital platforms. The proposed reading is chronological to progressively bring out the role of digital and web platforms, which allow replicability and scalability ensuring a much more significant impact. Finally, it should be noted that the analysed cases refer mainly to the museum sector and to the arts and temporary events sector because the practical exhibition issues are similar in both areas.

The originality values for which the cases were selected are manifold: they are capable of proposing new management and economic sustainability models, new organisational models, new forms of collaboration between actors in the sector or new ways of interacting with the public; they are also projects capable of fostering intra-museum synergies. Ultimately, although with different meanings, they are all opportunities to support culture (social footprint), to reduce the environmental impact (ecological footprint) and help the system to implement itself (economic footprint).

Among the first service experiences, interesting for its ability to exploit the potential of reuse and to establish new synergies between the system actors, is the Materials for the Arts project. This is the largest reuse centre in New York City dedicated to arts and cultural organisations¹³ (Fig.

10); established in 1978, the programme was promoted by the New York City Department of Cultural Affairs. The space, still active today, collected as much as 1.7 mln kg of reusable materials from businesses and individuals in five different city boroughs in 2018 alone. These materials were then made available free of charge to public schools, city agencies or non-profit organisations to create arts programmes. The service, although ethical, is not yet optimised on a digital sharing platform that could increase its impact. This experience has been followed by a series of other projects that, despite their continuity of direction, differ because they are the offspring of entrepreneurial initiatives or the Third Sector, and, therefore, for the time being do not have government support, and almost all of them (except Re-Biennale) are structured as fee-paying services.

In 2008, the project La Reserve des Arts – Pour une Création Circulaire et Solidaire¹⁴ was launched in France, promoted by an association that encourages professionals in the cultural, craft and art sectors to support a circular economy through the reuse of their discarded materials. Today, the association organises educational and awareness-raising activities and, through a digital platform, sells recycled materials, supplying them by the kilogram and by geographical area (Fig. 11). The same model was imported to Italy in 2021 by Spazio META¹⁵, a start-up that offers a fee-based service for collecting materials and structures used for sets, exhibitions and installations, then collected, (re)processed and finally displayed for sale to the public (Fig. 12). It should be considered that, each year, META recovers and redistributes over 16 tonnes of materials otherwise destined for waste. Currently, the sale of the products takes place only at their Milan Bovisa site and not online; this limits the target market and hinders the possible development of the project. Therefore, an evolution of the project based on the French model is likely to be expected.

The Re-Biennale¹⁶ initiative, as anticipated, is not configured as a service to the market but as an experience of ‘design activism’, defining itself a collaborative platform created by a network of Venetian citizens, students, architects, artists and political activists born in 2008, on the occasion of the 11th International Architecture Exhibition in Venice. The exhibition promoted design experimentation, starting from the virtuous reuse of materials and the realisation of social projects involving a broad public and aimed at valorising recovered waste for collective interest. The experiences already carried out are collected on a website. However, at the moment a digital infrastructure for the promotion and management of the activity (Fig. 13), which would allow it to extend into a supra-local sphere of action, does not exist.

Apart from the French experimentation, there are still a few digital platform projects that are relevant to the purposes of this research: one such project is CAN – Circular Arts Network¹⁷, a collaborative platform aimed at suggesting new forms of art by introducing the theme of reuse and recycling (Fig. 14). Established in 2020 and run by Sculpture Placement Group, an organisation specialising in the arts and sustainability, it provides resources for projects through a digital environment for the exchange of tangible and intangible goods (e.g. transport, equipment, time). CAN thus

encourages reuse in all art forms and works by connecting people, organisations and industries (particularly construction and manufacturing), helping creative communities access their surplus materials and supporting industry towards more sustainable processes.

Finally, among the more advanced experiences that exploit the potential of digital technology to act at a systemic level in the exhibition sector and to suggest new practices of use, the case of Non Si Butta Via Niente (lit. As Nothing Gets Wasted)¹⁸ is particularly interesting. Non Si Butta

Via Niente has been developed as the first intramuseum network for the reuse and recycling of resources that acts on sharing exhibition systems otherwise destined for costly storage or disposal. The project – incubated in 2021 by Cariplo Factory’s Innovamusei programme – intends to foster a process of creative regeneration of exhibition artefacts that can be partially or totally reused thanks to a web platform of mutual collaboration. The platform now sees the partnership of various local institutions (including La Triennale di Milano and, in this perspective, Gallerie d’Italia) that

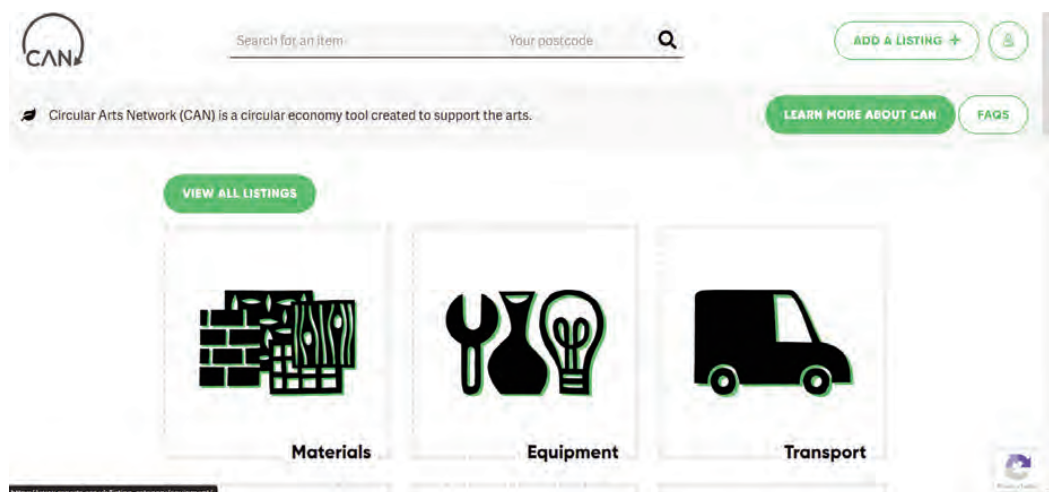
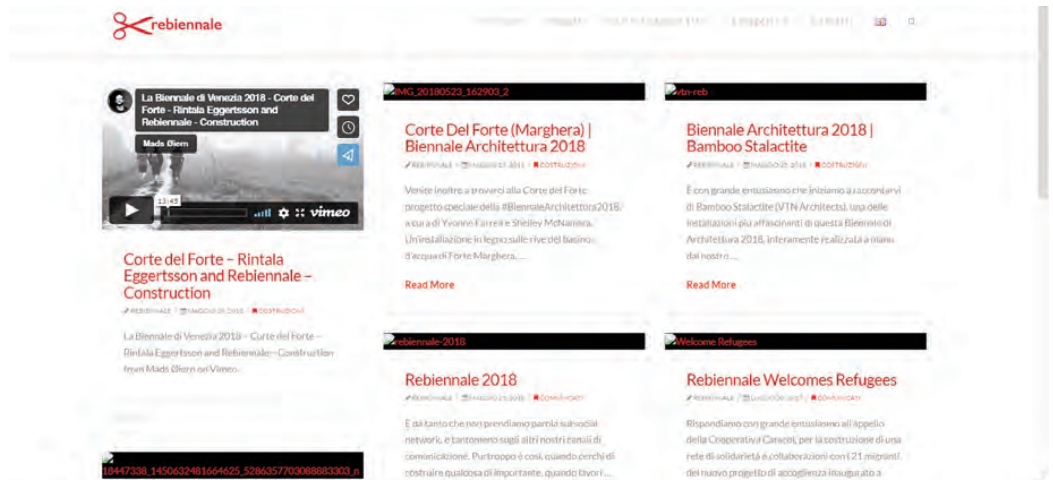


Fig. 13 | Re Biennale, website, homepage (source: rebiennale.org, 2022).

Fig. 14 | Collaborative Arts Network, website, homepage (source: canarts.org.uk, 2022).

Fig. 15 | Non Si Butta Via Niente, website, homepage (source: nonsibuttavianiente.it, 2022).



Fig. 16 | Non Si Butta Via Niente, the horizontal Fablab on circular economy issues (credit: D. Stanga, 2022).

have understood the need to think about exhibition design in a more environmentally and economically responsible way.

In addition to these institutions of national or supra-national relevance, the initiative has also recently captured the interest of the City of Milan (Senesi, 2022), which intends to promote the entire management of the Fuorisalone Districts through this platform. The management of the IT system, which is taken care of by the Milanese start-up and benefits company of the same name, envisages different membership packages (small, medium and large) under which partner museums can use storage, rental, customisation, consulting and educational services (Fig. 15). Numerous activities are already planned (and partly initiated) by the start-up: a standard abacus of materials produced from waste and refuse from previous installations is being updated; an exhibition on the new aesthetics of sustainability is being planned; a centre for experimental research (Fig. 16) and the production of installations from recycled materials has already been set up. Non Si Butta Via Niente stands, therefore, as a new 'service of culture', an accurate observatory on sustainability aimed at disseminating new and good practices at a systemic level under the banner of ecological responsibility and inclusive design.

The analysis conducted here reveals the proliferation of episodic experimentation and private initiative, but the absence of an organic system of evolved digital platforms to support the ecological transition. In a short-medium term scenario, however, this situation is destined to change since organising such infrastructures will allow for a sustainable evolution of the exhibition sector, facilitating an institutional involvement that, to date, has been scarcely incisive. A further level of criticality noted concerns the reduction of the digital transition to the mere elaboration of an online platform for sharing goods and services without deepening and exploring the full potential of digital, towards a transformation of the design, production and perhaps even the final enjoyment of the exhibition.

In the face of the fragilities detected in the system, one can emphasise the innovative and original nature of the survey, which is mapping a scenario that is only now under construction: the exhibition sector still appears to be decidedly lagging behind and is trying to 'make up for lost ground', aware of the urgency of finding – or tracing – new paths to sustainability.

Conclusions | The circular transition is increasingly urgent to align the progress of the architectural and exhibit design sectors with the sustainable development goals set by the UN and the EU, and digital tools have the potential to promote this transition. Several commonalities emerge from the discussion between the two sectors' lines of development. A first observation that unites the two areas is the lack of a systemic approach to sustainable and circular management of material resources. It is evident, for example, that the exhibition sector has not yet addressed with due awareness the sustainability issues caused by the waste generated by production, transport and the lack of end-of-life planning of exhibition artefacts, leaving the initiative to the drive of individuals for a long time. At the scale of architecture, where the issue of sustainability and material inefficiency has instead been on the agenda for some time, at least in research, digital platforms undoubtedly constitute steps forward in constructing new know-how. However, they should be integrated, from a systemic perspective, in the 'reorganisation and rethinking of the boundaries of the construction supply chain' (Campioli et alii, 2018).

Another convergence between the two sectors is the material circulation model proposed by the digital marketplaces analysed, which have similar interfaces and the same operating principle. One notes that within these initiatives, low visibility is given to their outcomes, as well as difficulty in systematising the tools to deal with the circularity of components and their possible reuse already in the design phase and not only after their decommissioning.

Concerning the causes of the general backwardness observed and the barriers that may limit the replicability and scalability of the good practices investigated, it is possible to formulate some hypotheses. Regarding the architecture project, structural reasons underlie the difficulty of integrating different digital tools for circularity within highly complex, regulated and rigid processes. The sector's regulations seem to be moving in the direction of a systemic redefinition of these processes in a sustainable key, albeit with very long timeframes, which still place the definition of operational rules for reuse in a circular perspective a long way off. As far as exhibit design is concerned, in addition to regulatory barriers and the general lack of political guidelines incentivising the adoption of sustainable design, it is necessary to consider other barriers to change, such as those of an artistic nature inherent in the tradition of a 'know-how' that struggles to renew itself. The architectural design sector shares some of these cultural barriers and widespread prejudices about the quality, safety and value of salvaged components. Digital tracking tools can be instrumental in overcoming this barrier.

The analysis also shows that private rather than public initiatives determine progress in the two sectors. However, the promotion of new and dedicated funding channels hints at a change in direction. In this sense, the codification of innovative virtuous models of public and private governance (Russo, 2021), capable of promoting integrated and systemic interventions, appears to be of strategic importance.

Finally, the study shows how innovations and circular approaches already integrated into architectural research and practice could be usefully transferred to the field of exhibit design, accelerating the sector's circular transition. Firstly, the system of traceability of materials and components proposed by platforms such as Madaster in the field of architecture can be suitably adapted and also applied in the field of exhibit design, outlining the contours of a possible universal 'database' of materials, where materials and components are reused in a transversal manner in different fields and activate synergies between different fields of design. An idea of traceability and, consequently, of several possible life cycles for material resources goes hand in hand with another approach already embraced by the field of architectural design that the field of exhibits could undoubtedly adopt: a design for disassembly, i.e., the development of projects that integrate the possibility of reusing components from the outset, or that already plan for it, identifying a subsequent use for the resources employed at an early stage of the design process. An approach of this kind is based on the temporariness of the exhibition project, whose components, thanks to their very short use cycles, can be exploited in different contexts and conditions; this possibility transforms the ephemeral condition of the exhibition artefact into a strong point in a reuse perspective.

Acknowledgements

This paper is the result of an ordinary reflection of the authors. The introductory paragraph and ‘Conclusions’ are written collectively. The paragraphs ‘Potentialities and Barriers to the Circular Transition of Architectural Design’ and ‘Digital Platforms for Reuse in Architecture: Different Scales and Impact Targets, from Resource Sharing to Material Passport’ have to be attributed to F. Zanotto, ‘The museum and exhibition sector towards a sustainable transition’ and ‘Reuse platforms for exhibit design: reading an evolving context’ to D. Crippa. B. Di Prete, A. Rebaglio, M. Cason Villa, and L. Ratti.

Notes

1) According to Lanzigher (2021), there are more than 100,000 museums in the world, and 50 per cent of them have been built or expanded in the last 40 years at a rate of about 1,000 new museums per year; despite this, they are still reluctant to consider the goals of sustainability as a joint and priority mission.

2) For more details, see the webpage: wikihouse.cc/mision [Accessed 05 October 2022].

3) More information can be found at: oogstkaart.nl [Accessed 05 October 2022].

4) More information can be found at: restado.de [Accessed 05 October 2022].

5) More information can be found at: concular.de [Accessed 05 October 2022].

6) More information can be found at: re-sign.it [Accessed 05 October 2022].

7) More information can be found at: madaster.com [Accessed 05 October 2022].

8) Aggregated data can be deduced from the transparency and balance sheet section of La Triennale di Milano. For more details, see: triennale.org/trasparenza/bandi [Accessed 05 October 2022].

9) For further information see the webpage: galleryclimatecoalition.org [Accessed 05 October 2022].

10) For further information, please consult the following webpage: icom-italia.org/riciclo-allestimenti-museali-lindrace-avviata-dal-gruppo-di-lavoro-del-coordinamento-regionale-lombardia [Accessed 05 October 2022].

11) For more details see: gpp.mite.gov.it [Accessed 05 October 2022].

12) Mission 1 – Digitisation, Innovation, Competitiveness, Culture and Tourism; Component 3 – Tourism and Culture 4.0; Scope 3 – Cultural and Creative Industries 4.0, point 3.3.

13) For further information, please consult the webpage: nyc.gov/content/mfta/pages/about [Accessed 05 October 2022].

14) For further information, please consult the webpage: lareservedesarts.org [Accessed 05 October 2022].

15) For further information, please consult the webpage: spaziometa.it [Accessed 05 October 2022].

16) For further information see: rebiennale.org [Accessed 05 October 2022].

17) For further information see: canarts.org.uk [Accessed 05 October 2022].

18) For further information see: nonsibuttavianiente.it [Accessed 05 October 2022].

References

Ahmed, Z. A., Qaed, F. and Almurbati, N. (2020), “Enhancing Museums’ Sustainability Through Digitalization”, in *2020 Second International Sustainability and Resilience Conference – Technology and Innovation in Building Designs*, IEEE, pp. 1-4. [Online] Available at: doi.org/10.1109/IEEECONF51154.2020.9319977 [Accessed 05 October 2022].

Bach, B., Stefaner, M., Boy, J., Drucker, S., Bartram, L., Wood, J., Ciuccarelli, P., Engelhardt, Y., Köppen, U. and Tversky, B. (2019), “Narrative Design patterns for interactive storytelling”, in Henry Riche, N., Hurter, C., Diakopou-

los, N. and Carpendale, S. (eds), *Data-Driven Storytelling*, A K Peters/CRC Press, New York.

Baiani, S. and Altamura, P. (2018), “Superuse e upcycling dei materiali di scarto in architettura – Progetto e sperimentazione | Waste materials superuse and upcycling in architecture – Design and experimentation”, in *Techne | Journal of Technology for Architecture and Environment*, vol. 16, pp. 142-151. [Online] Available at: doi.org/10.13128/Techne-23035 [Accessed 05 October 2022].

Campioli, A., Dalla Valle, A. Ganassali, A. and Giorgi, S. (2018), “Progettare il ciclo di vita della materia – Nuove tendenze in prospettiva ambientale | Designing the life cycle of materials – New trends in environmental perspective”, in *Techne | Journal of Technology for Architecture and Environment*, vol. 16, pp. 86-95. [Online] Available at: doi.org/10.13128/Techne-23016 [Accessed 05 October 2022].

Choppin, J. and Delon, N. (2014), *Matière grise – Matériaux, réemploi, architecture*, Editions du Pavillon de l’Arsenal, Paris.

Ciorra, P. and Marini, S. (eds) (2011), *Re-cycle – Strategie per la casa, la città e il pianeta – Catalogo della mostra*, Electa, Milano.

ECESP – European Circular Economy Stakeholder Platform (2021), *Circular Buildings and Infrastructure*. [Online] Available at: eeb.org/wp-content/uploads/2022/04/circular_buildings_and_infrastructure_brochure.pdf [Accessed 05 October 2022].

Epifani, S. (2020), *Sostenibilità digitale – Perché la sostenibilità non può fare a meno della trasformazione digitale*, Digital Transformation Institute, Roma.

European Commission (2022), *2022 Strategic Foresight Report – Twinning the green and digital transitions in the new geopolitical context*. [Online] Available at: ec.europa.eu/info/files/strategic-foresight-report-2022_en [Accessed 05 October 2022].

European Commission (2021), *Level(s) – What’s in it for construction companies and contractors, manufacturers, asset managers, facilities managers, and occupants?* [Online] Available at: data.europa.eu/doi/10.2779/94980 [Accessed 05 October 2022].

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/ALL/?uri=CELEX:52019DC0640 [Accessed 05 October 2022].

European Commission (2018), *Directive (EU) 2018/851 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 2008/98/EC on waste*, document 32018L0851. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32018L0851 [Accessed 05 October 2022].

European Commission (2008), *Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives*, document 32008L0098. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32008L0098 [Accessed 05 October 2022].

Franchino, R., Frettoloso, C. and Pisacane, N. (2019), “Tecnologia BIM e Innovazione Materiale – La Dimensione Ambientale | BIM Technology and Material Innovation – The Environmental Dimension”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 5, pp. 41-50. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/552019 [Accessed 05 October 2022].

Giglio, F., Lauria, M. and Lucarelli, M. T. (2021), “Oltre la cultura dello scarto, verso processi circolari | Beyond the culture of waste, towards circular processes”, in *Techne | Journal of Technology for Architecture and Environment*, vol. 22, pp. 16-21. [Online] Available at: doi.org/10.36253/techne-11535 [Accessed 05 October 2022].

Giorgi, S. (2020), “Strumenti di supporto al progetto per dinamiche di economia circolare in edilizia”, in Perriccioli, M., Rigillo, M., Russo Ermolli, S. and Tucci, F. (eds), *Il progetto nell’Era Digitale – Tecnologia, natura, cultura*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna, pp. 243-245. [On-

line] Available at: research.gsd.harvard.edu/zofnass/files/2021/02/e-book_-AAVV_Design-in-the-digital-age.pdf [Accessed 05 October 2022].

Giorgi, S., Lavagna, M. and Campioli, A. (2019), “Circolare e sostenibile – Verso l’ottimizzazione dei flussi materici nei processi di riqualificazione edilizia in Italia”, in *Ingegneria dell’Ambiente*, vol. 6, issue 2, pp. 151-163. [Online] Available at: ingegneriadellambiente.net/ojs/index.php/ida/article/view/212 [Accessed 05 October 2022].

ISO 20121:2012 (UNI ISO 20121:2013), *Sistemi di gestione Sostenibile degli Eventi*.

ISPRA (2022), *Rapporto rifiuti speciali – Edizione 2022*. [Online] Available at: isprambiente.gov.it/files2022/pubblicazioni/rapporti/rapportorifiutispeciali_ed-2022_n-367_versioneintegrale.pdf [Accessed 05 October 2022].

Lanzigher, M. (2021), “[Sviluppo Sostenibile] Musei e crisi ambientale”, in *Agenzia di stampa Cult*, 04/05/2021. [Online] Available at: agenziaecult.it/interni/sviluppo-sostenibile-musei-e-crisi-ambientale [Accessed 05 October 2022].

Leibing, E. and Blaim, M. A. (2020), “The Pilot Project Data – A comparative View”, in Brünger, S., Eppmann, T. and Mergel, K. (eds), *Carbon Footprinting in Cultural Institution – Documentation of the Pilot Project and Work Materials*, Kulturstiftung des Bundes, German Federal Cultural Foundation, pp. 18-20. [Online] Available at: kulturstiftung-des-bundes.de/fileadmin/user_upload/Klimabilanzen/Carbon-Footprinting-in-Cultural-Institutions.pdf [Accessed 05 October 2022].

Losasso, M. (2021), “Transizione circolare – Scenari per il futuro del progetto | Circular transition – Scenarios for the future of design”, in *Techne | Journal of Technology for Architecture and Environment*, vol. 22, pp. 7-9. [Online] Available at: doi.org/10.36253/techne-11532 [Accessed 05 October 2022].

Maida, D. (2021), “La Germania chiede ai musei qual è il loro impatto sull’ambiente”, in *Artribune*, 31/01/2021. [Online] Available at: artribune.com/dal-mondo/2021/01/germania-musei-impatto-ambiente/ [Accessed 05 October 2022].

MIC – Ministero della Cultura (2022), *155 Milioni di Euro per le imprese culturali e creative*. [Online] Available at: creativitacontemporanea.beniculturali.it/wp-content/uploads/2022/05/Cartella-stampa-06.05.2022.pdf [Accessed 05 October 2022].

Nastro, S. (2021), “Online il carbon calculator di Gallery Climate Coalition, il network delle gallerie per l’ambiente”, in *Artribune*, 22/01/2021. [Online] Available at: artribune.com/arti-visive/arte-contemporanea/2021/01/gcc-carbon-calculator-gallerie-ambiente/ [Accessed 05 October 2022].

Rosa, P. (2003), “Un’esposizione partecipata”, in Manzini, E. and Jégou, F. (eds), *Quotidiano sostenibile – Scenari di vita urbana – Un catalogo di soluzioni promettenti*, Edizioni Ambiente, Milano, pp. 256-257.

Rota, M. (2019), *Musei per la sostenibilità integrata*, Editrice bibliografica, Milano.

Russo, A. (ed.) (2021), *Pensare e fare economia circolare – Dal Green New Deal Europeo ai territori, come trasformare la strategia in impianti*, Guerini e Associati, Milano.

Senesi, A. (2022), “Design week Milano, Alessia Cappello: Troppo traffico, i grandi eventi devono essere più sostenibili”, in *Corriere della Sera*, 13/06/2022. [Online] Available at: milano.corriere.it/notizie/cronaca/22_giugno_13/design-week-milano-alessia-cappello-troppo-traffico-grandi-eventi-devono-essere-piu-sostenibili-73c3f8a6ea7d-11ec-afb1-eda73379fb39.shtml [Accessed 05 October 2022].

van Hinte, E., Peeren, C. and Jongert, J. (2007), *Superuse – Constructing new architecture by shortcutting material flows*, nai010 publishers, Rotterdam.

PIATTAFORME DIGITALI INTERCONNESSE E INTEGRATE PER IL SISTEMA UNIVERSITARIO

NETWORKED AND INTEGRATED DIGITAL PLATFORMS FOR THE UNIVERSITY SYSTEM

Davide Bruno, Felice D'Alessandro

ABSTRACT

Il contributo si pone l'obiettivo di stimolare e condividere nuove visioni sulla opportunità di riorganizzare e potenziare il vasto universo di applicativi digitali per la gestione del sistema universitario nazionale cercando di delineare uno scenario prospettico considerato nelle sue varie componenti strutturali (didattica, ricerca e terza missione) e porre al centro la persona. Scopo ultimo è la progettazione di piattaforme digitali interconnesse e integrate in collaborazione con il Consorzio Interuniversitario CINECA alla cui attenzione si è inteso sottoporre quelle aree d'intervento in cui è possibile e auspicabile pensare allo sviluppo e successiva implementazione di prodotti innovativi e originali che pongano gli Atenei italiani al passo con la più qualificata realtà internazionale favorendo la transizione verso un sistema aperto, trasparente, inclusivo e sostenibile.

The paper aims to stimulate and share new opinions on the opportunity to reorganise and enhance the wide universe of digital applications to handle the Italian university system, trying to outline a forward-looking scenario considered in its structural components (teaching, research and third mission) placing people at its core. The final aim is to design networked and integrated digital platforms in collaboration with CINECA Inter-University Consortium, with the aim to submit to it the areas of intervention where it is possible and desirable to think about the development and subsequent implementation of innovative and original products, making Italian universities catch up on the most qualified international situations by fostering the transition to an open, transparent, inclusive and sustainable system.

KEYWORDS

tecnologie digitali, sistema universitario, didattica, ricerca, terza missione

digital technologies, university system, teaching, research, third mission

Davide Bruno, Architect and PhD in Industrial Design, is an Associate Professor at the Polytechnic University of Milan (Italy). He was a Member of the Patents Commission of the Polytechnic University of Milan. In 2001, he won the 'Compasso d'Oro' award for the university project Agenzia SDI. Over the last years, he carried out design and consultation projects in the field of public transportation, coordinating high-complexity projects. Mob. +39 335/27.62.99 | E-mail: davide.bruno@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 participated in national and EU projects and tested physical models at highly qualified international laboratories. His research is focused mainly on environmental hydraulics and risk evaluation. Mob. +39 347/14.88.756 | E-mail: felice.dalessandro@unimi.it



Dalla loro istituzione in epoca medievale le Università hanno accompagnato la storia delle società occidentali attraverso cambiamenti che riflettono da vicino le trasformazioni delle diverse epoche e i modelli organizzativi e di trasmissione della conoscenza che le hanno caratterizzate (Kerr, 1995; de Ridder-Symoens, 2003; Homer Haskins, 2013). L'Università, inizialmente capace di raggiungere un'élite intellettuale circoscritta, diviene così accessibile a segmenti sempre più consistenti della società, contribuendo a rafforzare, allo stesso tempo, lo sviluppo sociale ed economico. Ad oggi, come molte forme istituzionali tipiche delle società occidentali, anche l'Università si trova ad affrontare le profonde crisi di paradigma del nuovo millennio. In un contesto di profonde trasformazioni sociali e culturali, di riconfigurazione degli equilibri geopolitici, di nuove frontiere scientifiche e tecnologiche che possono modificare radicalmente le economie e le società, il ruolo delle Università sta mutando celermente (Milanovic, 2016; Sassen, 2015).

Uno dei fattori di accelerazione del cambiamento è determinato dalla velocità dell'innovazione tecnologica e digitale che, in campi come la genetica, le neuroscienze, le biotecnologie e le tecnologie dell'informazione, produce al momento effetti imprevisi i cui futuri impatti sono inesplorati (Roco et alii, 2013; OECD, 2019). Il drammatico sotto-finanziamento a cui è storicamente soggetto e i diversissimi contesti socio-economici che caratterizzano le realtà territoriali del nostro Paese, rendono il sistema universitario italiano particolarmente eterogeneo e difficilmente riconducibile a una visione unitaria. Questi caratteri danno forza al potenziale ruolo delle tecnologie digitali nell'ottica di una 'democratizzazione della conoscenza' tesa a ravvicinare i poli accademici più distanti e differenti. L'esperienza del confinamento, il riassetto economico dettato dall'emergenza sanitaria, le sue conseguenze sul lungo periodo e la nostra capacità di reagire e di riorganizzare le attività sociali e produttive rappresentano un ulteriore forte acceleratore dello sviluppo tecnologico.

Il rischio reale sarà il divario tra chi saprà cogliere queste trasformazioni e chi, al contrario, non riuscirà a stare al passo con le dinamiche tecnologiche e di crescita globali; tra chi saprà intravedere e sfruttare le potenzialità aperte dallo scenario tecnologico e chi ne percepirà solo i pericoli; tra chi sarà in grado di compiere scelte audaci e chi ne vivrà solo i limiti; tra chi saprà fare sistema a livello globale e chi preferirà il radicamento locale (PoliMi, 2020). L'Università, per l'importanza che riveste nello sviluppo della società, è naturalmente portata a cercare, nelle nuove tecnologie, soluzioni e metodi capaci di rendere la formazione e la ricerca più efficace, accessibile e fruibile (Chesbrough, 2003; Davidson, 2011; Frey and Osborne, 2015). Nell'ultimo decennio, in tutti i Paesi avanzati, la funzione delle Università nella formazione del capitale umano, nonché nella produzione di conoscenza attraverso la ricerca, è diventata sempre più cruciale. Non è un caso che in diverse nazioni si siano creati negli ultimi vent'anni Centri di ricerca specializzati negli studi sulla 'higher education' (Clark, 1986; Curaj et alii, 2015). Moltissime sono state le innovazioni a livello di tecnologie e servizi, che si sono sviluppate e che sono entrate a far parte degli strumenti potenzialmente utilizzabili per risolvere molti dei maggiori problemi

del sistema universitario attuale (Ito and Howe, 2017). Tuttavia, tali strumenti, differenziati e in continua evoluzione, che richiedono competenze specifiche e metodologie interdisciplinari, non risultano ancora consolidati e inquadrati nella cultura e nel sistema organizzativo delle Università italiane.

A partire dall'Agenda di Lisbona del 2000 anche in Italia si parla molto del ruolo cruciale che Università e ricerca sono destinate ad assumere nella nuova economia e società della conoscenza. Ma nei vent'anni trascorsi da allora, la realtà italiana è stata in larga parte deludente. Inoltre la domanda del nostro sistema economico e il clima prevalente nell'opinione pubblica hanno a lungo svalorizzato il ruolo delle competenze e della conoscenza, e dunque dell'Università e della Ricerca (Regini, Manfredi and Viesti, 2020). È quanto mai necessario, quindi, pensare alla trasformazione delle Università come veri e propri motori di sviluppo, punti di attrazione di capitali e di risorse umane di qualità, ecosistemi territoriali che diventano centri di polarità e di nuove progettualità (Governa, 2015; OECD, 2020); organismi urbani che, alla luce dei recenti sviluppi aperti dalla pandemia, dovranno ripensare la propria funzione, ridisegnare nuovi spazi e nuove forme di socialità e di interazione: qui troveranno riscontro gli obiettivi del nuovo millennio.

A fronte dello scenario sin qui delineato, l'obiettivo del progetto descritto in questo contributo è quello di riorganizzare e potenziare il vasto universo di applicativi digitali per la gestione delle informazioni caratterizzanti il processo scientifico e didattico del sistema universitario italiano, favorendo la transizione verso un sistema aperto, trasparente, inclusivo e sostenibile in cui la Comunità accademica riesca a riappropriarsi del suo ruolo primario, con benefici per l'intera società. Scopo ultimo è la progettazione e sviluppo di un sistema complesso di gestione su più livelli, interconnesso e integrato, che: 1) risponda alle molteplici necessità organizzative del mondo universitario; 2) favorisca l'avanzamento degli Atenei nel ranking internazionale; 3) potenzi le peculiarità degli Atenei allo scopo di renderli sempre più complementari al modello territoriale di riferimento in costante relazione di scambio e 'cross-fertilization' con il mondo della ricerca e con l'industria, e in maniera incrociata tra diversi Atenei; 4) semplifichi la UX/UI rendendola più intuitiva, immediata, fruibile e comprensibile.

L'attività di studio si inserisce nel quadro delle esigenze del Programma Università 2030 del Consorzio Interuniversitario CINECA¹ e si sviluppa nell'ambito di un contratto di consulenza scientifica sottoscritto tra il CINECA e il prof. Davide Bruno del Politecnico di Milano che coordina dal 2021 un gruppo di lavoro multidisciplinare, in sinergia con il Piano Nazionale per la Scienza Aperta 2021-2027 (MUR, 2022).

Approccio metodologico e fasi della ricerca

Per attuare un progetto così ambizioso si è rivelato fondamentale il coinvolgimento del Consorzio promuovendo un approccio costruttivo teso a facilitare uno scambio di opinioni, metodi e buone pratiche così da valorizzare gli esiti del dialogo e del confronto. Il piano di attività ha previsto lo svolgimento di una valutazione dello stato dell'arte mediante ripetuti workshop con le figure apicali

del CINECA (direttore generale, responsabile direzione amministrazione finanza e controllo, responsabile direzione Università e ricerca, responsabile cloud computing) e con i loro riferimenti operativi per la rilevazione dei bisogni e delle esigenze. Gli incontri sono avvenuti sia a Milano che presso la sede del Consorzio a Casalecchio di Reno. Le iniziative di coinvolgimento del Consorzio sono state curate allo scopo di prevenire i rischi di una gestione del progetto autoreferenziale e attivare percorsi collaborativi in una prospettiva di valore condiviso, per ottenere vantaggi a beneficio sia del CINECA, consolidandone la capacità di operare per il perseguimento degli obiettivi strategici, sia dei portatori d'interesse (gli Atenei), promuovendo risposte alle loro aspettative.

L'approccio metodologico adottato ha previsto che il progetto si sviluppasse in fasi distinte ma complementari configurando un processo interattivo da condurre in parallelo, con momenti intermedi di integrazione reciproca delle parti e valutazione dei risultati parziali raggiunti al fine di determinare l'impatto di eventuali criticità rispetto agli obiettivi prefissati ex ante.

Nello specifico, la struttura organizzativa del progetto si è articolata in quattro elementi distintivi (Fig. 1): attività di gestione e disseminazione (wp0); costruzione di interfacce 'user-centred' per 'personas' (wp1); ricognizione dei prodotti CINECA esistenti e in costruzione (wp2); identificazione delle aree d'intervento e delle azioni/prodotti da sviluppare (wp3). In particolare, il wp0 ha avuto come obiettivo generale la responsabilità del corretto svolgimento del progetto dal punto di vista gestionale, organizzativo, realizzativo, informativo e divulgativo. Il wp1 è stato dedicato all'analisi dei fabbisogni degli utenti ('personas'). Nello specifico, è stato proposto un nuovo approccio funzionale che ha avuto come principale obiettivo quello di definire una nuova visione della identità digitale delle 'personas', che diventano 'centro' di un sistema interconnesso e integrato, a cui sono destinate interfacce 'user-centred' in grado di soddisfare interamente le necessità lavorative (Fig. 2).

Il wp2 è stato orientato all'attività di ricognizione dei 79 applicativi CINECA esistenti, da cui si originano 289 connessioni, implementati su processi funzionali che attualmente il Consorzio propone agli Atenei per l'organizzazione e gestione delle diverse attività in materia di governance, amministrazione, didattica e ricerca. Con l'ambizione, da parte degli autori, di anticipare le sfide future prefigurando possibili traiettorie di evoluzione, un ulteriore obiettivo del wp2 è stato quello di identificare le criticità degli articoli attualmente in catalogo, valutarne la portata e l'impatto, e indirizzare CINECA verso un possibile miglioramento dell'offerta esistente mediante lo sviluppo di prodotti innovativi e originali. Valutando attentamente lo scenario attuale di ripresa post-Covid con le sue nuove sfide e mutate esigenze, nell'ambito del wp3, infine, si è inteso sottoporre all'attenzione di CINECA quelle aree in cui è possibile e auspicabile pensare allo sviluppo e successiva implementazione di processi che portino gli Atenei italiani al passo con la più ampia realtà internazionale.

Definizione di un'interfaccia 'user-centred'

La proposizione di una nuova visione della identità digitale delle 'personas' è stata perseguita me-

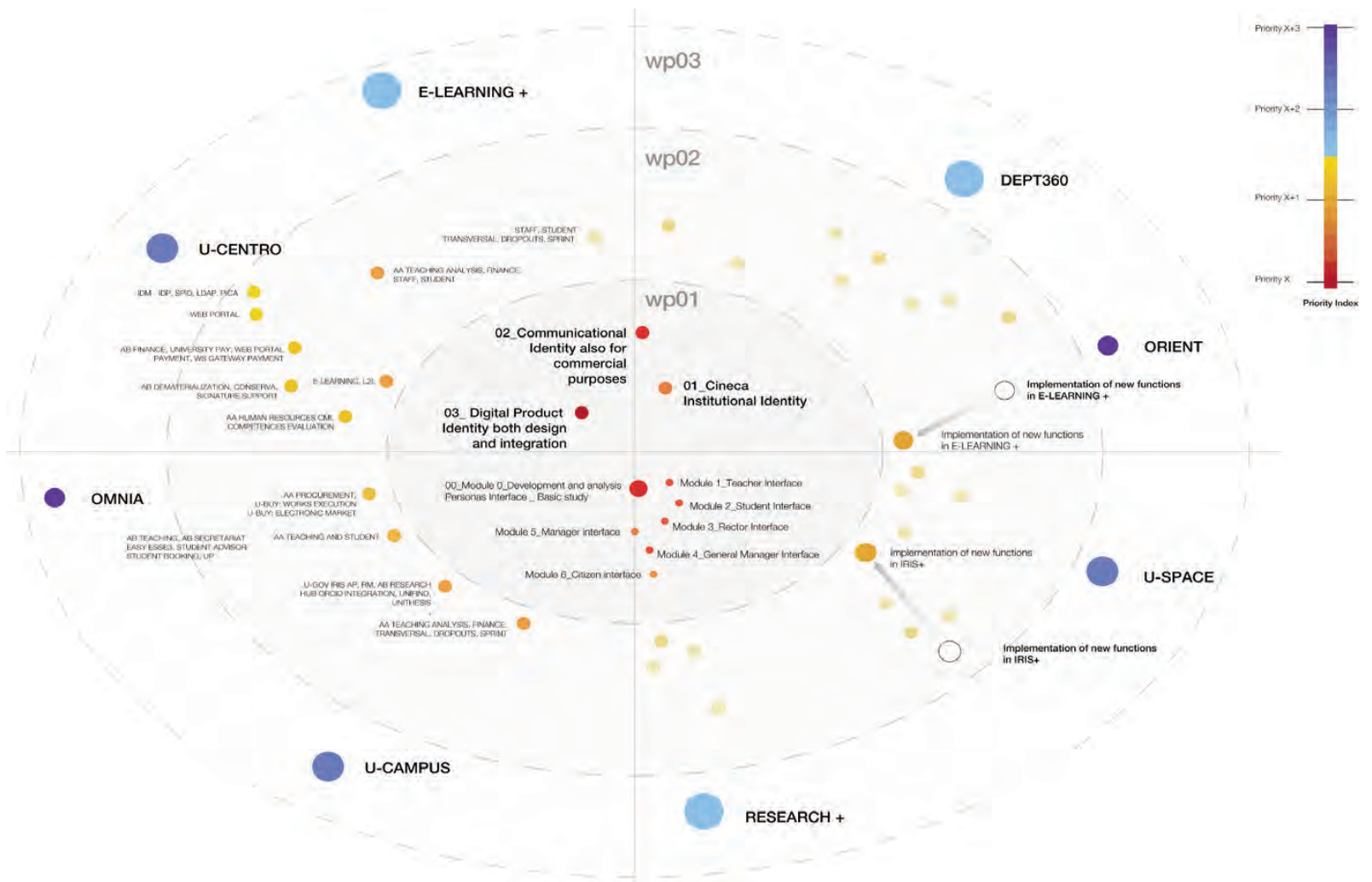


Fig. 1 | Project's organisational structure (credit: D. Bruno, 2022).

diante le seguenti finalità: riduzione del numero totale di applicativi in uso e loro progressivo accorpamento; miglioramento dell'esperienza di utilizzo; maggiore controllo delle interfacce da parte degli utenti; riduzione consistente del carico cognitivo degli utenti; maggiore interconnessione fra applicativi, funzioni, servizi, strumenti e dati; creazione di una nuova 'visual identity'. In particolare, sono stati analizzati i fabbisogni in riferimento a cinque profili rappresentativi dei principali ruoli accademici. Nello specifico: Organi di Ateneo, docenti con ruoli funzionali, docenti e ricercatori, personale tecnico-amministrativo e studenti.

A titolo esemplificativo, le 'personas' 'docenti' utilizzano 19 articoli CINECA diversi, potendo attivare 105 funzioni applicative. I processi legati alle diverse attività (ricerca, didattica, terza missione, amministrativa) sono guidati, ciascuno, da un gestionale differente. In una logica incentrata sulle 'personas' gli stessi processi sono parte di una sola attività che rappresenta il fabbisogno dell'utente finale nell'esercitare il proprio ruolo e le proprie mansioni. Da tali considerazioni, è intuitivo immaginare come, un approccio orientato alla 'personas', in questo caso al docente, semplifica di molto l'utente nell'espletamento delle quotidiane attività lavorative (Fig. 3).

A tale scopo, le interfacce 'user-centred' proposte risultano completamente staccate dagli attuali applicativi gestionali prodotti da CINECA ma ne utilizzano le funzioni richiamando le API dispo-

nibili. Le interfacce 'user-centred' progettate e sviluppate sono utilizzabili mediante tutti i più diffusi web browser (Chrome, Firefox, Edge, Safari) e pensate per essere sfruttate pienamente da dispositivi mobili, quali smartphone e tablet. Inoltre, le nuove interfacce rispondono ai requisiti della responsabilità e accessibilità secondo le linee guida sull'accessibilità degli strumenti informatici di AgID² (compliance). La soluzione di identità di prodotto ideata anche in riferimento ai maggiori articoli di mercato (benchmark) è stata soggetta a verifica mediante una survey, attraverso gli stakeholder di Ateneo. Ogni indagine ha dato luogo a diverse tipologie di informazioni (feedback) oggetto di analisi statistiche. Nella fase di design sono stati soggetti a valutazione: architettura delle scelte, device della 'personas' ed elementi di UX/UI design specifici da adottare.

Ricognizione e integrazione dei prodotti esistenti

La catalogazione dei prodotti CINECA è stata rappresentata attraverso tre differenti tipologie di mappe concettuali. La prima 'A' ha l'obiettivo di mettere in evidenza la complessità e la dimensione dell'universo CINECA (Fig. 4): facendo leva sulle connessioni e sulle proprietà dei diversi applicativi, essa restituisce un quadro che, seppur di maggiore impatto, risulta essere più ostico nella lettura e interpretazione funzionale. È stata, quindi, ideata una seconda mappa cluster 'B' che razionalizza e semplifica le informazio-

ni contenute nella precedente rappresentazione (Fig. 5). Le due mappe concettuali sono pensate come soluzioni integrate che, se consultate parallelamente, offrono una panoramica esaustiva dei prodotti esistenti.

La Figura 6 mette in evidenza i collegamenti presenti tra i vari applicativi anche appartenenti ad aree diverse. I prodotti creano una fitta trama di connessioni che evidenziano diverse tipologie di scambio d'informazione; la capillare rete generata permette di gestire la complessità del sistema. Non si tratta, infatti, di singoli prodotti indipendenti, ma di elementi interconnessi che sfruttano diverse fonti per funzionare correttamente. Al fine di agevolare la lettura della fitta trama di connessioni, la terza e ultima rappresentazione grafica 'C' offre una visione completa sia del framework dei prodotti, che degli applicativi suddivisi per aree tematiche (Figg. 7, 8). Le tre mappe concettuali rappresentate restituiscono, dunque, tre diverse chiavi di lettura. Ciascuna ha l'obiettivo di mettere in evidenza un particolare aspetto emerso dall'analisi dei prodotti; insieme contribuiscono a valorizzare la complessità dell'universo CINECA.

A valle della catalogazione dei prodotti, sono state individuate le criticità degli articoli attualmente in catalogo al fine di indirizzare CINECA verso un possibile miglioramento dell'offerta commerciale mediante l'integrazione degli applicativi esistenti e lo sviluppo di nuovi prodotti innovativi e originali. Le connessioni tra gli applicativi che sino

ad oggi si limitavano esclusivamente agli articoli esistenti appartenenti a un unico layer, sono state estese a layer sovrapposti, rendendo la struttura dei prodotti ancora più complessa, in una logica di interazione multi-livello (Fig. 9). L'individuazione di prodotti esistenti ritenuti strategici per una loro integrazione e sviluppo si è basata su un approccio Quality Function Deployment (QFD) utile a identificare le priorità d'intervento (Akao, 1990; Fig. 10). Dall'analisi effettuata si è resa evidente la necessità di introdurre soluzioni innovative in riferimento ai prodotti funzionali alle macroaree relative alle due missioni tradizionali, didattica e ricerca, in particolare E-Learning e IRIS (Fig. 11).

Le azioni volte alla integrazione dell'articolo E-Learning sono state indirizzate a perfezionare gli strumenti e i metodi della formazione a distanza per cogliere le trasformazioni post-Covid. Nello specifico, E-Learning+ integra le funzionalità dell'articolo E-Learning mediante l'offerta di servizi di didattica e formazione a distanza innovativi e utili a sostenere una nuova dimensione digitale attraverso opportune attività e con canali di comunicazione dedicati. Parlare di innovazione didattica significa riferirsi a un processo in continua evoluzione in cui si sperimentano nuovi modelli educativi valorizzando il ruolo fondamentale dell'apprendimento che si arricchisce di ampie opportunità di sviluppo in termini di competenze trasversali. Secondo questa visione, si tratta di ripensare l'Università in un'ottica di formazione aperta e continua, integrata con il mondo esterno e con la società civile, per avere un ruolo sempre più proattivo nella formazione permanente, un 'lifelong learning' (Edmondson and Saxberg, 2017).

E-Learning+, in particolare, si presenta quale strumento operativo di supporto ad azioni e iniziative volte principalmente a: promuovere nuove forme organizzative della didattica sul modello 'active learning' ('flipped classroom'; Mazur 1997) e 'global learning' in modalità asincrona (approccio Massive Online Open Courses – MOOC e materiali multimediali Open Course Ware – OCW); attirare interesse verso l'offerta formativa dei Corsi di Studio (effetto 'window looking'); valorizzare il patrimonio delle registrazioni; favorire la formazione permanente ('lifelong learning').

In un contesto ormai caratterizzato da reti informative globali le dinamiche di creazione di nuova conoscenza necessitano di strumenti digitali adeguati. Il dibattito ormai maturo sulla 'innovazione aperta' rappresenta un chiaro segnale di questa direzione, mentre in ambito accademico si moltiplica la disponibilità delle cosiddette 'shared data resources', la cui mole potrebbe diventare ingestibile da parte di singole Istituzioni (Chesbrough, 2003; Hansen and Birkinshaw, 2007). Allo stesso tempo, cresce parallelamente l'interesse verso il modello dell' 'open publishing', alimentato e fruito da una comunità sempre più nutrita di studiosi e ricercatori, dentro e fuori i contesti accademici. Questo fenomeno potrebbe avere un impatto significativo sulle dinamiche di produzione e circolazione della conoscenza al di là delle reti tradizionalmente formalizzate (Bernius, 2013).

La soluzione Ricerca+ si inserisce in questo contesto di necessità e integra le funzionalità dell'articolo IRIS con un insieme di tre moduli che informatizzano alcuni processi legati all'attività di ricerca non compresi in IRIS. Le nuove tecnologie digitali possono abilitare reti di relazioni non ba-

sate sulla prossimità ma su complementarità e sinergia. Nello specifico, in Ricerca+ sono oggetto di sperimentazione strumenti digitali volti a: supportare lo sviluppo di nuove connessioni e forme di collaborazione virtuale nella ricerca (visiting 'at home', laboratori 'oltre-confine'); favorire la mobilità internazionale di tipo-blended ('virtual internship'); creare nuove opportunità di collaborazione su scala nazionale e internazionale con aziende e alunni; agevolare tutoraggio e supervisione di studenti Erasmus, Dottorandi e Post-doc in mobilità in campus internazionali.

Definizione degli obiettivi di lungo periodo, nuovi prodotti e impatti attesi |

Con l'obiettivo di stimolare e condividere nuove visioni sulla formazione e sulla ricerca universitaria, di anticiparne le possibili evoluzioni, simmetrie e interazioni con il contesto socioeconomico, il progetto è stato pensato per definire gli obiettivi di lungo periodo e valutare gli impatti attesi attraverso l'analisi dei processi di trasformazione delle Università in Europa e nel mondo alla luce delle scelte funzionali che queste sono chiamate a prendere (Lester, 2017; Harvard University, 2022; University of Oxford, 2018).

Da qui gli Autori sono partiti per tracciare i prossimi passi di un nuovo approccio basato sulla preventiva identificazione delle aree d'intervento e successiva implementazione delle azioni e dei prodotti da sviluppare anche al fine di alleviare le difficoltà che attraverserà l'Italia nei prossimi anni per migliorare il proprio posizionamento accademico e scientifico nei ranking internazionali (Fig. 12). Per far ciò, sarà necessario mettere in opera politiche che mettano al centro i tre pilastri dell'impatto, del campus globale e dell'individuo al fine di aumentare il contributo che l'Università è

in grado di generare in favore della società, dell'innovazione scientifica e tecnologica per uno sviluppo sostenibile e inclusivo; garantire spazi fisici, spazi virtuali e servizi innovativi che favoriscano l'integrazione di studenti, docenti, ricercatori, anche internazionali; rimarcare i valori e i bisogni dell'essere umano, per porlo al centro dei percorsi che intraprenderemo, valorizzando il talento e la capacità di cogliere e di affrontare le grandi sfide tecnologiche e sociali.

In questa sede, per ragioni di sintesi, sono stati selezionati e descritti solo tre degli articoli innovativi e originali in fase di progettazione: U-Campus, U-Space e U-Centro. In particolare, U-Campus è l'insieme dei prodotti destinati a rendere il Campus universitario e una parte di città esemplari per qualità della vita e sostenibilità ambientale (European Commission, 2020). Le azioni da intraprendere per conseguire questo obiettivo particolarmente ambizioso e qualificante sono numerose e investono ambiti anche fortemente diversificati (riduzione dell'impatto ambientale, del consumo energetico e degli sprechi) nell'ottica di una strategia sistemica di comunicazione ed educazione in grado di coinvolgere tutti coloro che lavorano e operano nel Campus in un processo di crescita della consapevolezza dell'attenzione verso i temi della sostenibilità (Adams et alii, 2016; Fig. 13).

In linea con gli indirizzi virtuosi dettati dalle migliori Università internazionali, U-Campus intende accrescere la consapevolezza del ruolo sociale dell'Istituzione universitaria attraverso l'educazione alla cultura della sostenibilità, agevolando il percorso di accreditamento dell'Ateneo come Campus sostenibile (ISCN)³ e favorendo la creazione di azioni sinergiche con gli enti locali nell'ambito di una 'sustainable vision' del territorio. Inoltre, azioni premiali rivolte prevalentemente agli

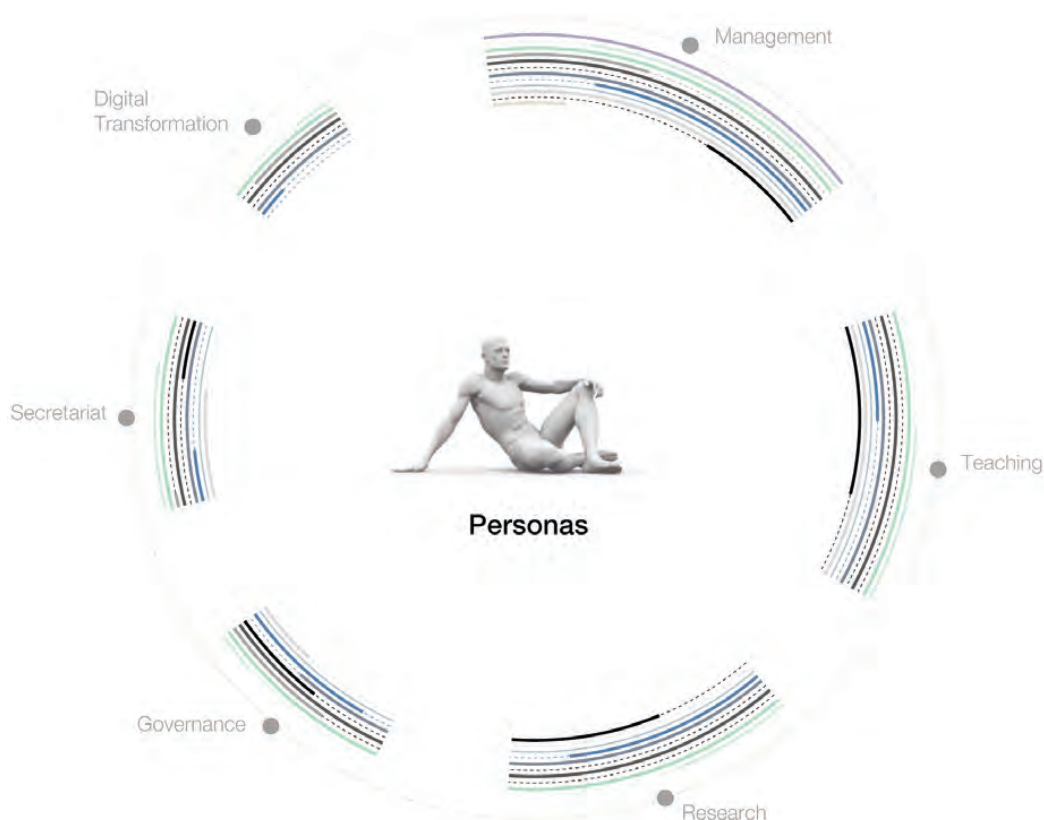


Fig. 2 | A new vision of 'personas' digital identities, users become the 'core' of a networked and integrated system (credit: D. Bruno, 2022).

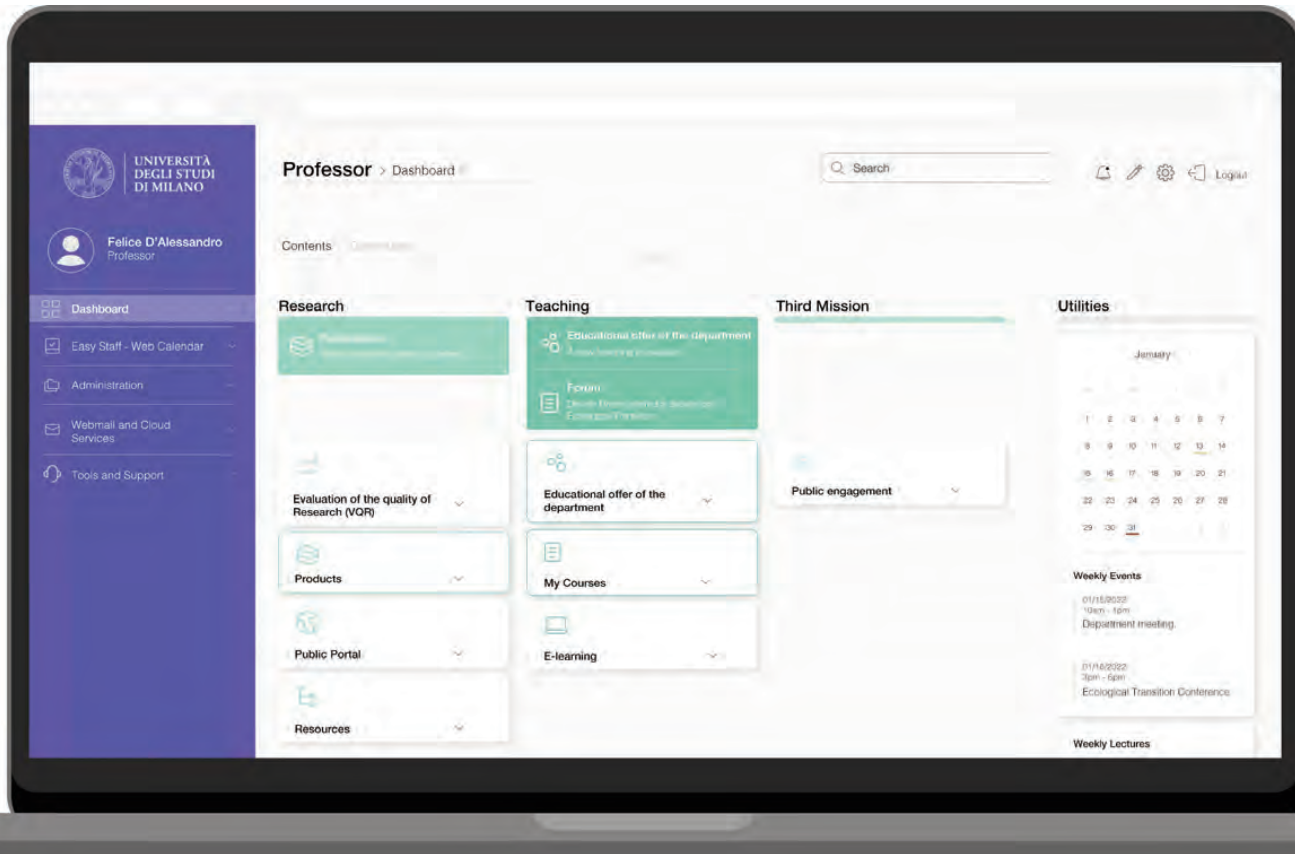


Fig. 3 | Demo version of the 'user-centred' platform for professors (credit: F. D'Alessandro, 2022).

studenti, a sostegno di attività di promozione e valorizzazione di comportamenti virtuosi dal punto di vista della sostenibilità, trovano in U-Campus gli spazi comunicativi necessari.

La crisi causata dalla pandemia ha accelerato alcune dinamiche di trasformazione della didattica, del lavoro, della mobilità, delle relazioni che alimentano un dibattito ancora aperto. Che impatto hanno e avranno queste trasformazioni sulla fruizione degli spazi dell'ateneo? In che modo possono essere anticipate per orientare una nuova progettualità? Quali nuove forme di relazione con la città possono essere immaginate?

Anche al fine di rispondere ai quesiti sollevati in precedenza, U-Space, nello specifico, è un applicativo volto a gestire le attività proprie di un 'phygital' (physical + digital) Campus ove sia possibile coniugare gli strumenti digitali alla qualità dello spazio reale e dei servizi ripensando l'equilibrio tra spazio fisico e spazio virtuale con l'integrare funzioni nuove in collaborazione con attori esterni (Ratti and Claudel, 2019; UniMi, 2021). Il digitale è per sua natura una infrastruttura flessibile e adattabile che offre potenzialità di personalizzazione delle attività e favorisce nuove forme di relazione. La natura stessa di alcuni spazi (aula, uffici) e degli spazi di transizione (il fuori dall'aula e dagli uffici) può essere ripensata per renderli adatti a funzioni multiple. Nella pervasività delle attività mediate dal digitale, lo spazio fisico acquisisce dunque una nuova importanza fondamentale come luogo di incontro e occasione di scambio spontaneo.

Il paradigma europeo del 'campus in città' può rappresentare un'opportunità di sviluppo di cui tutti gli attori dell'ecosistema urbano possono beneficiare. Le trasformazioni urbane richiedono

una capacità di proiezione di lungo periodo e una visione sistemica. Alla luce di questo possibile scenario è auspicabile ripensare gli spazi di connessione e la mobilità affinché la rete di risorse diffuse a livello urbano sia connessa e realmente integrata e valutare l'opportunità di riqualificare il sistema di residenze universitarie ispirato ad accessibilità ed equità, anche attraverso nuovi possibili modelli di valorizzazione del costruito (patrimonio edilizio di Ateneo).

U-Centro è l'insieme di prodotti pensati per realizzare una nuova visione di Università intesa come centro di un sistema complesso e interconnesso particolarmente fertile per lo sviluppo di progettualità innovative e tecnologie avanzate (Resch, Britter and Ratti, 2012; Acuto et alii, 2018). Il paradigma dell'innovazione aperta ha ridefinito gli equilibri tra attori in nuovi ecosistemi della conoscenza che mettono in relazione Università-industria-Istituzioni-territorio. La terza missione al centro delle politiche universitarie produce una proliferazione di strutture di raccordo Università-imprese e un incremento delle politiche orientate a rafforzare i processi di trasferimento tecnologico. U-Centro coniuga contatto fisico e spazio digitale in un'ottica di Campus futuristico ove ricercatori e studenti possano vivere, lavorare e studiare a stretto contatto con realtà del settore pubblico e privato (aziende e start-up), affinché innovazione, esperienza, idee e ricerca possano circolare liberamente.

In Italia, la ricerca è stata troppo a lungo chiusa tra le mura delle Università mentre la contaminazione è il primo fattore di sviluppo di un polo scientifico dell'innovazione. In tal senso, U-Centro prefigura un nuovo modello relazionale, di scambio, di ricerca e di creazione di conoscenza tra

l'Ateneo e l'ecosistema di riferimento a livello locale, nazionale e internazionale al fine di: agevolare le interazioni con la città; incoraggiare il trasferimento tecnologico; alimentare l'idea di 'campus globale'; interagire con il sistema universitario europeo ('rete enhance' e 'scientific globalism'; Lee and Haupt, 2020).

Da un raffronto critico con selezionati sistemi internazionali emerge in maniera chiara che l'Italia, rispetto ad altri Paesi europei quali la Francia, la Germania e la Spagna può contare su un apparato di sistema globale, altamente inclusivo e unitario: globale essendo il CINECA un Consorzio Interuniversitario formato da 112 Enti pubblici di cui 70 Università; altamente inclusivo in quanto il Consorzio ingloba indifferentemente Atenei di tutte le taglie (mega, grandi, medi e piccoli) uniformemente distribuiti sulla penisola; unitario poiché, autonomamente, il CINECA tramite il Dipartimento HPC (High Performance Computing) SCAI (Super-Computing Applications and Innovation) offre supporto alle attività dell'intero sistema accademico e della ricerca nazionale. In Francia, l'AMUE (Agence de Mutualisation des Universités et établissements d'enseignement supérieur ou de recherche) è un gruppo d'interesse pubblico con caratteristiche simili al CINECA pur non presentando lo stesso livello di globalità e inclusività. In Spagna, il 'Barcelona Supercomputing Center-Centro Nacional de Supercomputación' (BSC-CNS) è il Centro nazionale di calcolo ad alte prestazioni e Centro internazionale di eccellenza nell'e-science a servizio della Comunità accademica, scientifica e dell'industria che necessita di risorse HPC.

In Germania, nel 2015, il 'German Council of Science and Humanities', un organo consultivo per il governo federale su questioni relative alla

scienza, alla ricerca e al settore dell'istruzione superiore, ha avviato il programma 'National High Performance computing' (NHR) in funzione del quale, nel 2021, è stato creato un consorzio di nove Centri informatici universitari, che differenzia ulteriormente il panorama tedesco dell'HPC scientifico, con l'obiettivo di implementare e coordinare una piattaforma digitale congiunta per le applicazioni.

La differenza tra il sistema italiano e quelli spagnolo e tedesco riguarda, in primo luogo, la numerosità delle Università consorziate. Il carattere globale del sistema italiano agevola l'inclusività degli Atenei periferici e di quelli dimensionalmente meno rappresentativi nell'ottica di una visione di crescita più democratica ed equilibrata dell'intero sistema universitario nazionale. Alle argomentazioni illustrate in precedenza è da aggiungere il tema della 'autodeterminazione' dei singoli Atenei: in Europa e nel mondo, le Università più prestigiose hanno come minimo comune denominatore la necessità di produrre un Piano Strategico di Ateneo con l'implementazione di misure orientate allo sviluppo tecnologico e digitale degli apparati gestionali e funzionali (Lester, 2017; Harvard University, 2022; University of Oxford, 2018). In Italia, il METID del Politecnico di Milano è la Task Force 'Innovation Teaching and Learning' per la progettazione di strumenti e metodi per l'innovazione didattica e il 'faculty development'. In primo luogo, emerge la necessità di enfatizzare la ricerca multi- e interdisciplinare per una contaminazione dei saperi basata sull'intersezione delle varie discipline atte a migliorare la vita degli individui e lo stato del pianeta.

La forte vocazione multidisciplinare del progetto, che abbraccia diversi settori ERC, dalle scienze sociali e umanistiche (SH4_13), alle scienze fisiche, dell'informazione e ingegneria (PE6_2, PE6_4 e PE6_14) evidenzia il suo potenziale impatto sulla Comunità scientifica internazionale anche mostrando un buon livello di replicabilità e trasferibilità ad ambiti universitari internazionali. Una nuova idea di Università più efficiente e collaborativa creerà uguali opportunità per tutti i ricercatori, indipendentemente da nazionalità o appartenenza istituzionale, favorendo l'integrità della ricerca e la trasparenza della comunicazione didattica e scientifica. La possibilità di combinare grandi quantità di informazioni di origine diversa permetterà di svolgere, inoltre, azioni orientate alle 'missioni' previste da Horizon Europe per affrontare le sfide del pianeta e della società.

Limiti della proposta progettuale e barriere | I limiti della proposta progettuale sono riconducibili, in primo luogo, a una carenza di dialogo con i comparti ministeriali. L'attuazione del Processo di Bologna⁴ unita alla lentezza e complessità dei processi normativi italiani rendono il sistema accademico nazionale particolarmente lento nel cambiamento e ben poco capace di attuare reali politiche di autonomia. In particolare, l'appartenenza istituzionale alla Pubblica Amministrazione rende molto difficile intraprendere percorsi di innovazione virtuosa sul piano dell'organizzazione. È da sottolineare, inoltre che, ad oggi, barriere di tipo economico, giuridico e culturale impediscono alla maggioranza di ricercatori e cittadini di accedere in rete ai processi e ai risultati della ricerca nonché alle risorse didattiche.

L'evoluzione dei metodi osservativi e speri-

mentali ad alto flusso di dati pone importanti sfide all'apertura, trasparenza ed efficacia della condizione, però, al contempo, innesta un numero illimitato di possibilità per la ricerca e l'innovazione. La messa a disposizione in rete di testi e dati/risultati generati da esperimenti, osservazioni, indagini, simulazioni numeriche e scienza computazionale, secondo i criteri della scienza aperta e dell'accesso aperto ai dati FAIR – Findable, Accessible, Interoperable and Reusable (MUR, 2022), renderà possibile lo sviluppo di strumenti innovativi e favorirà nuovi tipi di conoscenza, in chiave multidisciplinare e interdisciplinare.

Non mancano, tuttavia, visioni controverse e segnali in direzione contraria ai vantaggi derivanti dall'evoluzione tecnologica per quanto essa possa contribuire a una forte democratizzazione e diffusione della conoscenza, sia sul versante della ricerca sia su quello della formazione. Si osserva infatti come l'interesse verso nuovi modelli orientati ai succitati 'shared data resources' e 'open publishing' potrebbero avere un impatto significativo sulle dinamiche di produzione e circolazione della conoscenza, al di là delle reti tradizionalmente formalizzate, e mettere in discussione il modello stesso di Università.

Questo fenomeno solleva due punti di attenzione fondamentali per il sistema universitario nel suo complesso: innanzitutto, la necessità di sviluppare capacità selettive e critiche per la verifica dell'attendibilità dei dati e delle informazioni derivanti da questa 'area grigia' di conoscenza, i cui livelli di autenticità e certificazione non sono sempre noti; in secondo luogo, i Campus universitari potrebbero veder modificare il loro significato allontanandosi sempre più dall'essere 'luoghi' deputati alla creazione e trasmissione di conoscenza, intese come processi unidirezionali ed esclusivi. La loro attrattività potrà dipendere dalla capacità di offrire a ricercatori e studenti ambienti di socializzazione, sperimentazione, lavoro creativo e collaborativo. Alcune sperimentazioni stanno già prendendo corpo in modi differenti sia negli Stati Uniti sia in Asia, mentre in Europa il sistema universitario appare più conservatore e lento nei cambiamenti, anche perché spesso ancorato a politiche pubbliche (Curaj et alii, 2015; Carey, 2016).

Conclusioni e raccomandazioni per gli attori coinvolti | Diviene sempre più importante che le Università assumano un ruolo attivo e responsabile nei confronti delle grandi sfide globali del nostro tempo, la cui complessità e scala fanno emergere la necessità di elaborare idee e soluzioni nuove, sviluppare strategie e compiere azioni per far sì che la Comunità accademica riesca a riappropriarsi del suo ruolo primario, con benefici per l'intera società.

In tale contesto e nell'ambito del complesso dibattito scientifico ancora aperto trae origine questo ambizioso progetto collaborativo validato da brillanti esempi – non solo riferibili al panorama mondiale dei più importanti Atenei (Massachusetts Institute of Technology, Harvard University, University of Oxford, tra gli altri), ma anche negli ambiti della ricerca scientifica, economica, nel mondo delle applicazioni digitali – e da molte altre suggestioni da cui prende spunto per elaborare nuove idee e visioni. Scopo ultimo è la progettazione e sviluppo di un sistema complesso di gestione su più livelli, interconnesso e integrato,

che risponda alle molteplici necessità organizzative e di gestione degli Atenei rendendoli sempre più complementari al modello territoriale di riferimento favorendone il posizionamento nelle graduatorie internazionali.

È interessante, a questo riguardo, notare la correlazione tra le graduatorie dei sistemi universitari con le graduatorie dei sistemi Paese. Se si guarda, ad esempio, al Global Attractiveness Index scopriamo una significativa correlazione tra i Paesi ad elevata attrattività e la collocazione delle prime cento Università nei ranking più diffusi, siano esse quelle determinate da Qs, il più noto, o THE⁵. Cosa significa, quindi, per un'Università pubblica in Italia darsi un orizzonte competitivo? Significa in primo luogo definire un accordo tra tutti i portatori d'interesse sui principi che determinano le regole necessarie per trasformare gli intenti in risultati concreti.

Il dibattito sul futuro della formazione a livello internazionale è spesso dominato dal potenziale ruolo di trasformazione delle tecnologie digitali. Una posizione alternativa è quella che identifica nelle tecnologie digitali uno strumento di supporto alla formazione, non necessariamente sostitutivo. Anche se la prospettiva genera opinioni divergenti, sembra ragionevole immaginare che pur a fronte della disponibilità online di contenuti forniti dalle migliori Università al mondo, la dimensione di interazione fisica tenderà a prevalere per molte ragioni. Tra queste la più convincente è quella che vede nel periodo universitario un passaggio fondamentale nella formazione degli studenti come individui, in cui la dimensione relazionale ed esperienziale gioca un ruolo prioritario. Questo non può essere sostituito da forme di apprendimento virtuale perché verrebbero a mancare le relazioni sociali, le dinamiche di gruppo, il confronto personale docente-studente, la dimensione sperimentale e laboratoriale.

Al fine di superare le barriere di natura economica, giuridica e culturale, si rende necessario, dunque, esplorare la possibilità di interpretare i vincoli di contesto in maniera proattiva sperimentando modelli di gestione e soluzioni nuove in modo flessibile senza irrigidire troppo i processi decisionali che devono poter garantire lo sviluppo di progetti culturali e scientifici di lungo respiro. Sarebbe auspicabile, dunque, favorire il coordinamento e la sinergia fra tutti gli attori coinvolti, ovvero il Parlamento e il Governo, l'Agenzia di valutazione, le infrastrutture di ricerca, gli Enti di ricerca e gli Atenei, il CUN, impegnando gli attori del sistema su obiettivi chiari e misurabili al fine di immaginare, nell'immediato futuro, la costituzione di un Centro interuniversitario di ricerca quale strumento per aggregare e valorizzare le diverse competenze e per consolidare un vero e proprio Centro nazionale per lo studio dei sistemi universitari e di alta formazione. La capacità di originare tali differenti prospettive offrirebbe l'opportunità di ribadire che la dialettica delle idee è l'autentica virtù dell'Università, ciò che le permette di essere tale anche dopo una storia più che millenaria, avendo cambiato molti abiti, ma sempre nel solco di una complessa e ideale identità.

Since their creation in the medieval era, Universities have accompanied the history of western so-

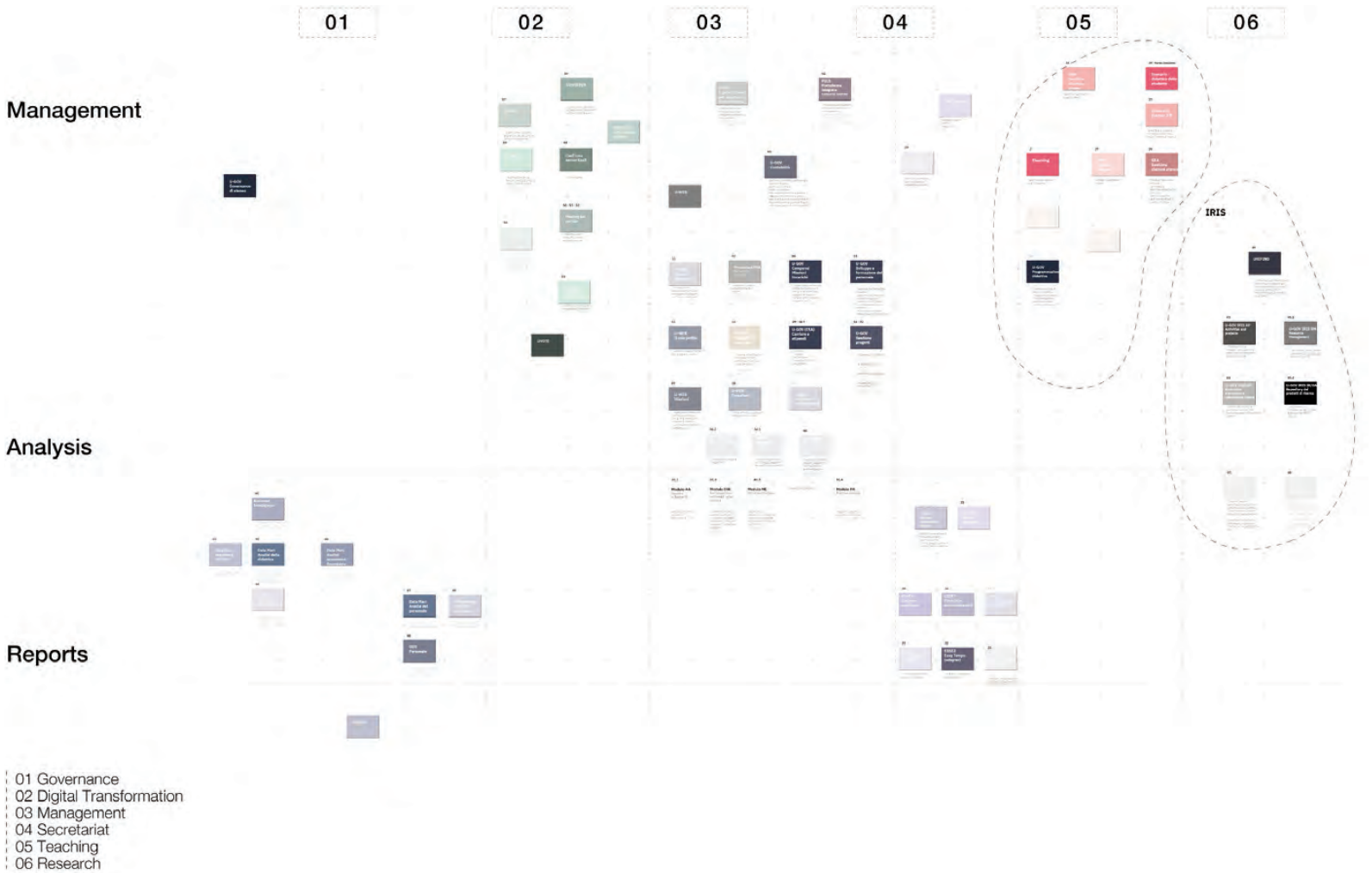


Fig. 4 | New classification of CINECA products: concept map 'A' (credit: D. Bruno, 2022).

cieties with changes clearly showing the transformations of different eras and the organisation and knowledge transmission models that characterised them (Kerr, 1995; de Ridder-Symoens, 2003; Homer Haskins, 2013). The University initially involved only a limited intellectual élite, now it is accessible to increasingly larger segments of society, reinforcing, at the same time, social and economic development. Currently, like many institutions typical of western societies, University is also facing the deep paradigm crisis of the new millennium. In this context of deep social and cultural transformation, reconfiguration of geopolitical balances, and new scientific and technological insights that can radically modify economies and societies, the role of Universities is quickly changing (Milanovic, 2016; Sassen, 2015).

One of the main factors accelerating change is determined by the speed of technological and digital innovation that, in genetics, neurosciences, biotechnologies and information technology, is creating unforeseen effects whose future impacts are largely unexplored (Roco et alii, 2013; OECD, 2019). The drastic underfunding it has always experienced and the very different socio-economic contexts that characterise Italy, make the university system particularly heterogeneous and difficult to merge into a unified vision. These aspects empower the potential role of digital technologies for a 'knowledge democratisation' aimed at bringing closer the most distant and different academic poles. The lockdown experience, the economic

reorganisation imposed by the health emergency, its long-term consequences and our ability to react and reorganise social and productive activities represent a further strong accelerator of technological development.

The true risk will be the gap between those capable of understanding these transformations and those who are not capable of keeping up with global technological and growth dynamics; those capable of seeing the potential of the technological scenario and those who see only its dangers; those capable of making bold choices and those who see only its limits; those capable of creating a global system and those who prefer staying local (PoliMi, 2020). The University, for its importance in the development of society, is naturally led to search, in new technologies, solutions and methods capable of making education and research more effective, accessible and available (Chesbrough, 2003; Davidson, 2011; Frey and Osborne, 2015). Over the last ten years, in all developed countries, the function of Universities in the creation of human capital, as well as in the production of knowledge through research, has become increasingly crucial. It is no coincidence that, over the last twenty years, in many countries Research centres specialising in 'higher education' studies have been created (Clark, 1986; Curaj et alii, 2015). There have been many innovations at technology and service level, developed and become part of the tools that can be potentially used to solve many major problems of the

current university system (Ito and Howe, 2017). However, these tools, differentiated and constantly evolving, requiring specific skills and interdisciplinary methodologies, are not consolidated and framed within the culture and organisation system of Italian Universities yet.

After Lisbon Agenda 2000, also in Italy was discussed the crucial role that universities and research will have to use in the new economy and knowledge society. In the twenty years that have passed since then, Italy has been largely disappointing. Moreover, the demand of our economic system, and also the prevailing mood of public opinion, have long devalued the role of skills and knowledge, hence, of University and Research (Regini, Manfredi and Viesti, 2020). Therefore, it is important to consider the transformation of Universities as true development models, attraction points for funds and quality human resources, territorial ecosystems that become centres of versatility and new projects (Governa, 2015; OECD, 2020); urban organisms that, in light of recent developments caused by the pandemic, will have to rethink their function, redesign new spaces and forms of socialisation and interaction. This is where the objectives of the new millennium will be met.

In light of the scenario outlined so far, the aim of the described project is to reorganise and enhance the wide universe of digital applications for handling information characterising the scientific and educational process of the Italian university system, favouring the transition towards an open,

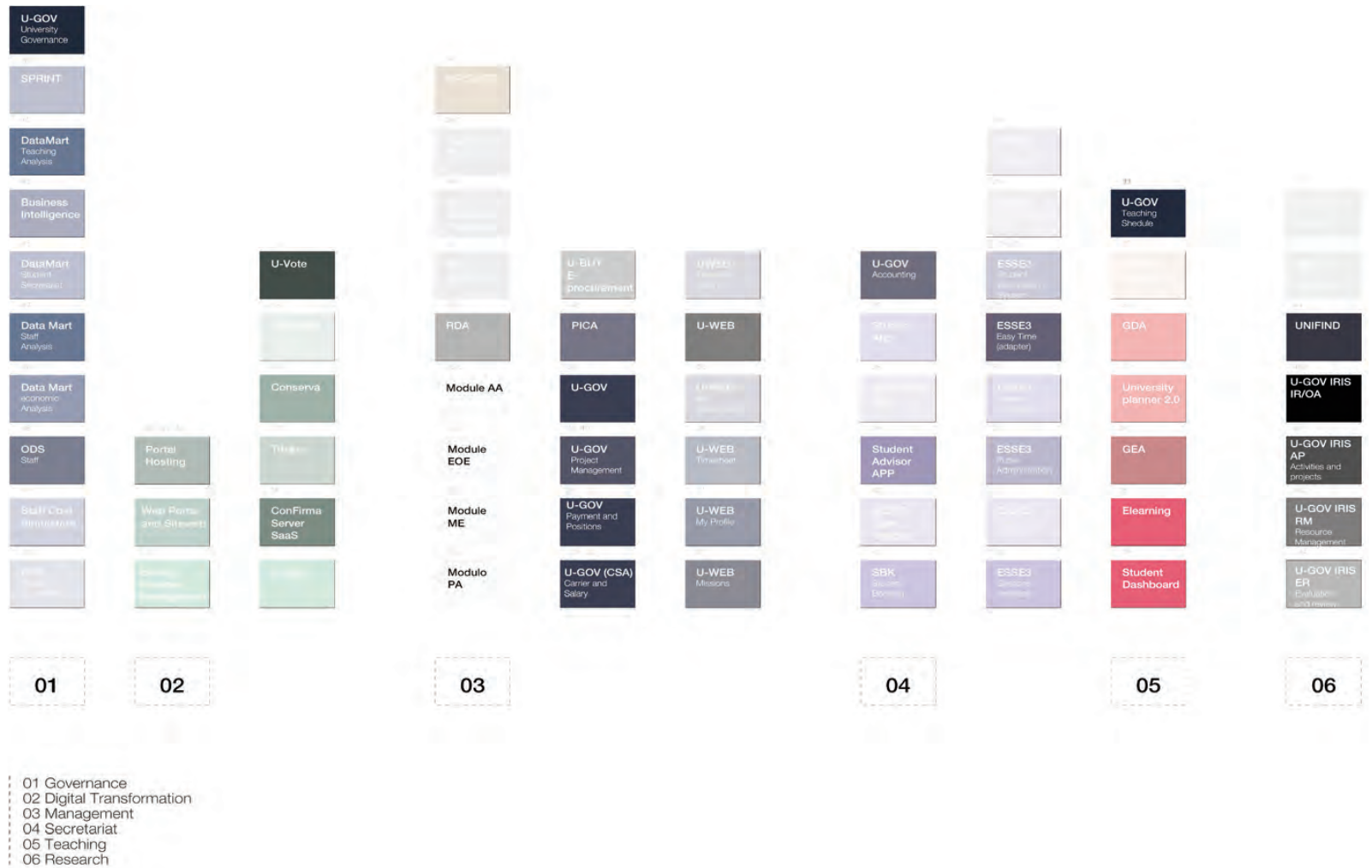


Fig. 5 | New classification of CINECA products: concept map 'B' (credit: D. Bruno, 2022).

transparent, inclusive and sustainable system in which the academic community could regain its primary role, with benefits for the whole society. The final aim is to design and develop a complex networked and integrated management system on different levels, that: 1) meets the multiple organisational needs of the University; 2) promotes the progress of Universities in international rankings; 3) strengthens the features of the Universities to make them increasingly complementary to the territorial model, in constant exchange and 'cross-fertilization' with the research and industry worlds, cross-exchanging with different universities; 4) simplifies the UX/UI, making it more intuitive, immediate, usable and understandable.

The study activity is part of the requirements of the 2030 University Programme promoted by the CINECA¹ Inter-University Consortium. It was developed in a scientific consultancy contract signed in 2021 by CINECA and professor Davide Bruno from the Polytechnic University of Milan, who coordinates since 2021 a multidisciplinary working group with the National Plan for Open Science 2021-2027 (MUR, 2022).

Methodological approach and research stages

To implement such an ambitious project, the involvement of the Consortium was fundamental. It promoted a positive approach aimed at facilitating an exchange of ideas, methods and good practices to enhance the results of the dialogue and discussion. The activity plan has established a

state-of-the-art evaluation through repeated workshops with CINECA leaders (general director, heads of administration, finance and control, head of University and research management, head of cloud computing) and their operation references to record needs and demands. The meetings have taken place both in Milan and in Casalecchio di Reno, headquarters of the Consortium. The involvement initiatives of the Consortium have been studied to prevent the risks of handling the project in an autoreferential way and to activate collaborative paths in a shared value perspective, to obtain advantages both in favour of CINECA, consolidating its ability to pursue strategic objectives, and stakeholders (the Universities), promoting responses to their expectations.

The used methodological approach envisaged to develop the project in three different but complementary stages, setting up an interactive process to carry out simultaneously, with intermediate stages of mutual integration of the parties and assessment of partial results reached to determine the impact of possible problems for the previously set goals.

In particular, the project organisational structure is organised in four unique elements (Fig. 1): management and dissemination activities (wp0); building 'user-centred' interfaces for 'personas' (wp1); survey of existing and under construction CINECA products (wp2); identification of intervention areas and actions/products to be developed (wp3). In particular, the wp0 general objective was

to be responsible for the right development of the project on management, organisation, implementation, information and dissemination level. Wp1 was dedicated to the analysis of the need of users ('personas'). Specifically, it was proposed a new functional approach whose main goal is to define a new vision of 'personas' digital identity, becoming the 'core' of a networked and integrated system, with specific 'user-centred' interfaces, capable of fully satisfying work needs (Fig. 2).

The wp2 was oriented towards recognising the 79 CINECA existing applications, which originate 289 connections, implemented on functional processes that the Consortium currently proposes to Universities to organise and manage various activities in governance, administration, teaching and research areas. The authors have the ambition of anticipating future challenges and imagining possible evolution paths. Another wp2 objective was to identify problems of articles currently in the catalogue, assess their scope and impact, and direct CINECA towards a possible improvement of the existing offer through the development of innovative and original products. By carefully assessing the current scenario after Covid recovery, the new challenges and needs, within the wp3, we wanted to bring to CINECA's attention those areas in which it is possible and desirable to think about the development and subsequent implementation of processes that would bring Italian Universities up to speed, as the wider international situation.

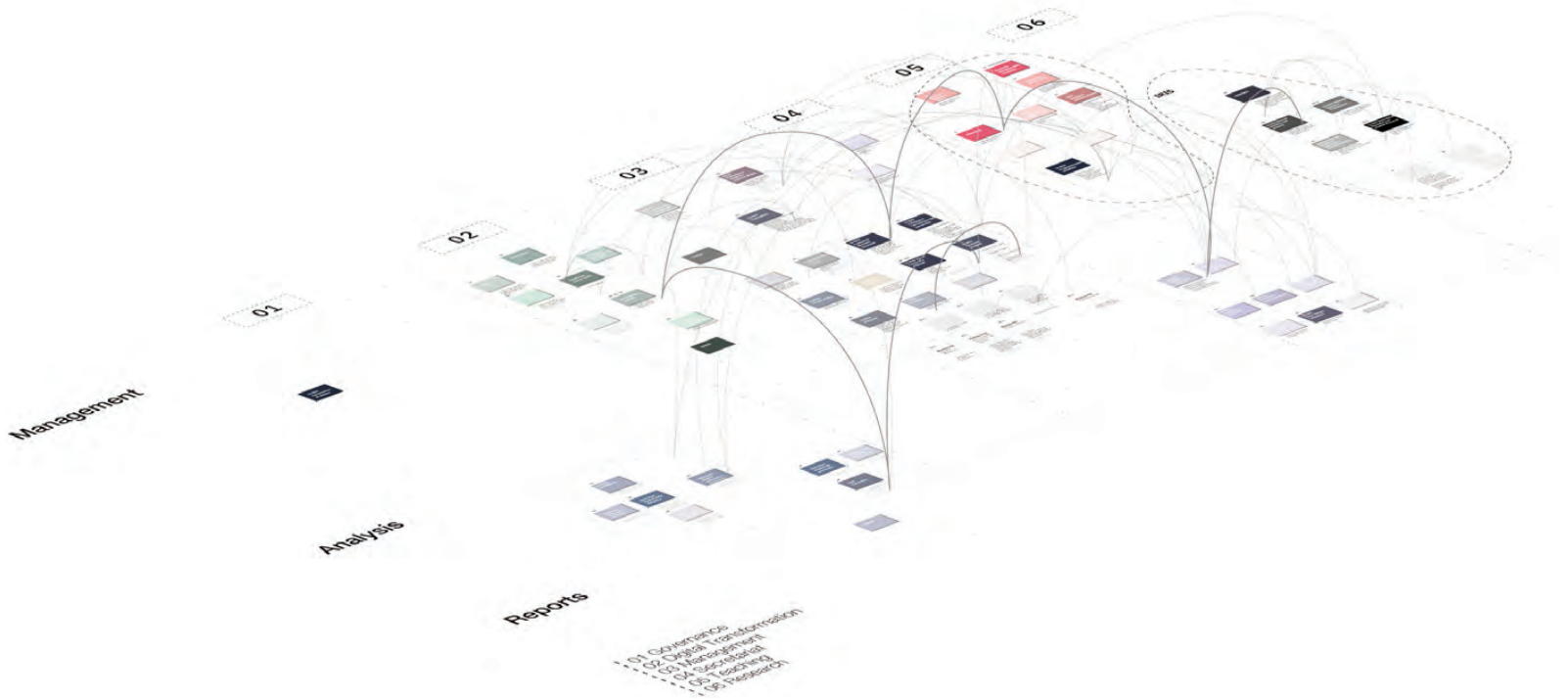


Fig. 6 | Connection network of existing products (credit: D. Bruno, 2022).

Define a ‘user-centred’ interface | The proposal of a new vision of ‘personas’ digital identities had specific aims: reduce the total number of applications in use and gradually merge them; improve the user experience; better control interfaces for users; significant reduction of cognitive load for users; increased network between applications, functions, services, tools and data; creation of a new ‘visual identity’. In particular, the needs concerning five representative profiles of key academic roles have been analysed. Specifically: University bodies, professors with functional roles, professors and researchers, technical-administrative staff and students. For example, ‘professor’ ‘personas’ use 19 different CINECA articles, and can enable 105 application functions. The processes are linked to different activities (research, teaching, third mission, administration), each one guided by a different management group. In a logic focused on ‘personas’, the same processes are part of a single activity representing the need of final users to perform their roles and duties. From these considerations, it is clear that an approach oriented towards ‘personas’, in this case, the professor, greatly favours the user in performing daily working activities (Fig. 3).

To this purpose, the proposed ‘user-centred’ interfaces result fully disconnected from the current management applications produced by CINECA but use their function referring to the available APIs. The designed and developed ‘user-centred’ interfaces can be used in the most common web browsers (Chrome, Firefox, Edge, Safari) and are imagined to be fully usable from mobile devices, such as smartphones and tablets. Moreover, the new interfaces respond to responsive and accessibility requirements, following AgID guidelines on IT tools accessibility² (compliance). The product identity solution also designed thinking about major market items (benchmark) was subjected to verification through a survey, by university stakeholders. Each investigation has

generated different kinds of feedback, objects of statistical analysis. In the design stage, they were objects of assessment: architecture choice, ‘personas’ device and specific UX/UI design elements to use.

Recognition and integration of existing products | CINECA products classification was represented through different types of conceptual maps. The first ‘A’ aims to highlight the complexity and dimension of the CINECA universe (Fig. 4); by leveraging on connections and proprieties of different applications, it gives back a framework that, even if it has a greater impact, is more difficult in the functional reading and interpretation. Therefore, it was created another cluster map ‘B’, rationalising and simplifying information included in the previous representation (Fig. 5). The two conceptual maps are imagined as integrated solutions that, when checked simultaneously, give a comprehensive overview of existing products.

Figure 6 highlights the links between different applications also belonging to different areas. The products create a thick web of connections highlighting different information exchange types; the extensive network created enables to handle the complex system. These are not single independent products, but networked elements exploiting different sources to properly work. With the aim to facilitate the understanding of the thick web of connections, the third and last graphical representation ‘C’ provides a global vision both on the framework of the product, and the applications divided into subject areas (Figg. 7, 8). The represented conceptual maps provide three different interpretations. Each one aims to highlight a specific aspect of the product analysis; together they enhance the complexity of the CINECA universe.

After the products’ classification, their problems were identified to direct CINECA towards a possible improvement of the commercial offer through the integration of existing applications

and the development of new, innovative and original products. Connections between applications, which until now were limited exclusively to existing articles belonging to a single layer, have been extended to overlapping layers, making the product structure even more complex, in a multi-level interaction sense (Fig. 9). The search for existing products considered strategic for their integration and development is based on a Quality Function Deployment (QFD) useful to find intervention priorities (Akao, 1990; Fig. 10). From the analysis performed, it emerged the need to introduce innovative solutions concerning products functional to the macro-areas related to the two traditional missions, teaching and research, in particular E-Learning and IRIS (Fig. 11).

The actions, focused on the integration of the E-Learning article, were aimed to perfect tools and methods of distance learning to grasp post-Covid transformations. Specifically, E-Learning+ integrates the functions of E-Learning by offering innovative distance learning and training, useful to support a new digital dimension through specific activities and communication channels. Talking about teaching innovation means referring to a constantly-evolving process where new learning models are experimented with, enhancing the fundamental role of learning enhanced with many development opportunities in terms of transversal competencies. According to this vision, rethinking University with the aim of continuous and open learning, integrated with the outside world and society, plays an increasingly proactive role in ‘lifelong learning’ (Edmondson and Saxberg, 2017).

E-Learning+, in particular, is presented as an operational tool to support actions and initiatives aimed mainly at promoting new organisation forms of teaching based on ‘active learning’ (‘flipped classroom’; Mazur 1997) and asynchronously ‘global learning’ models (Massive Online Open Courses – MOOC approach and multimedia materials Open Course Ware – OCW); at-

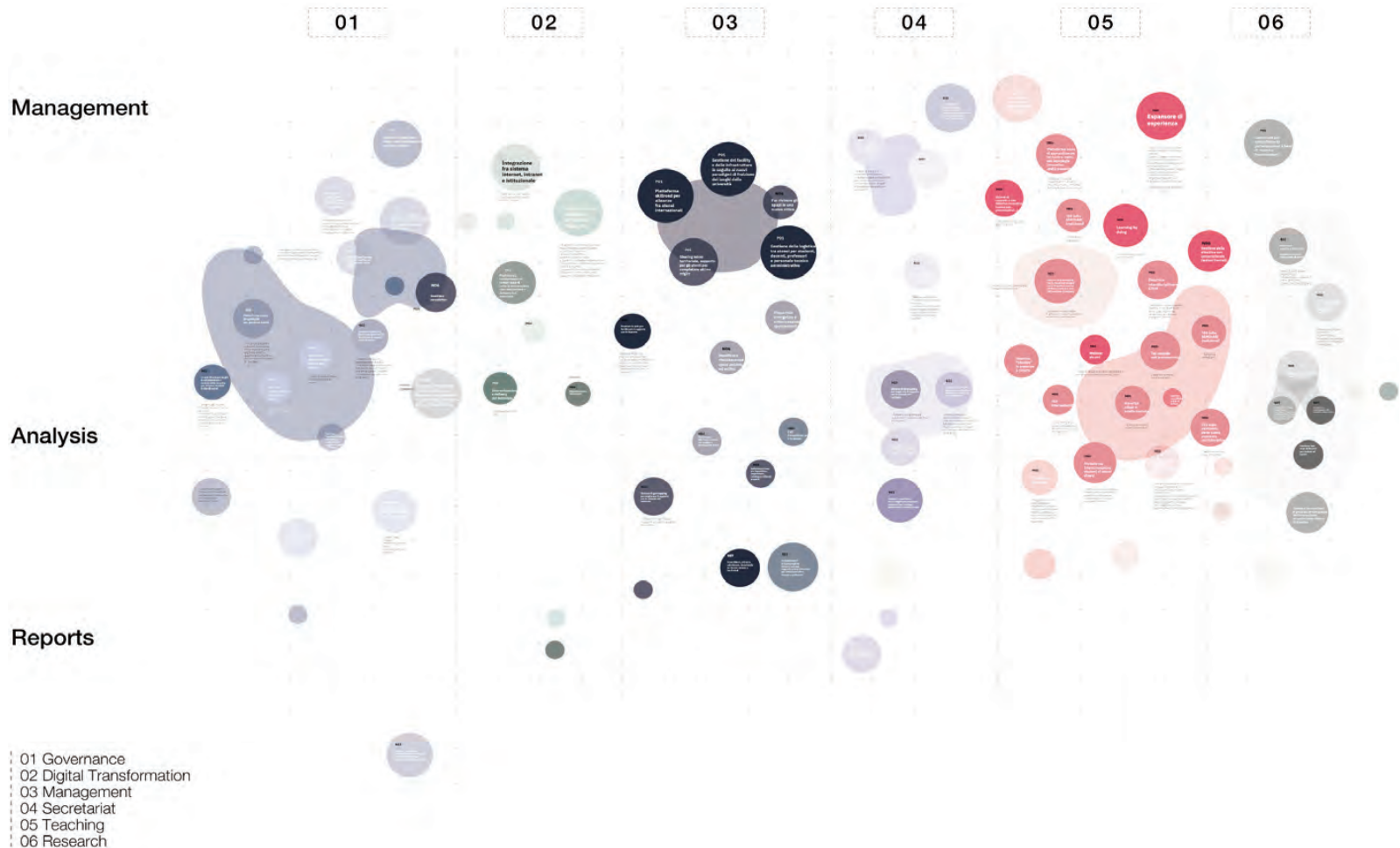
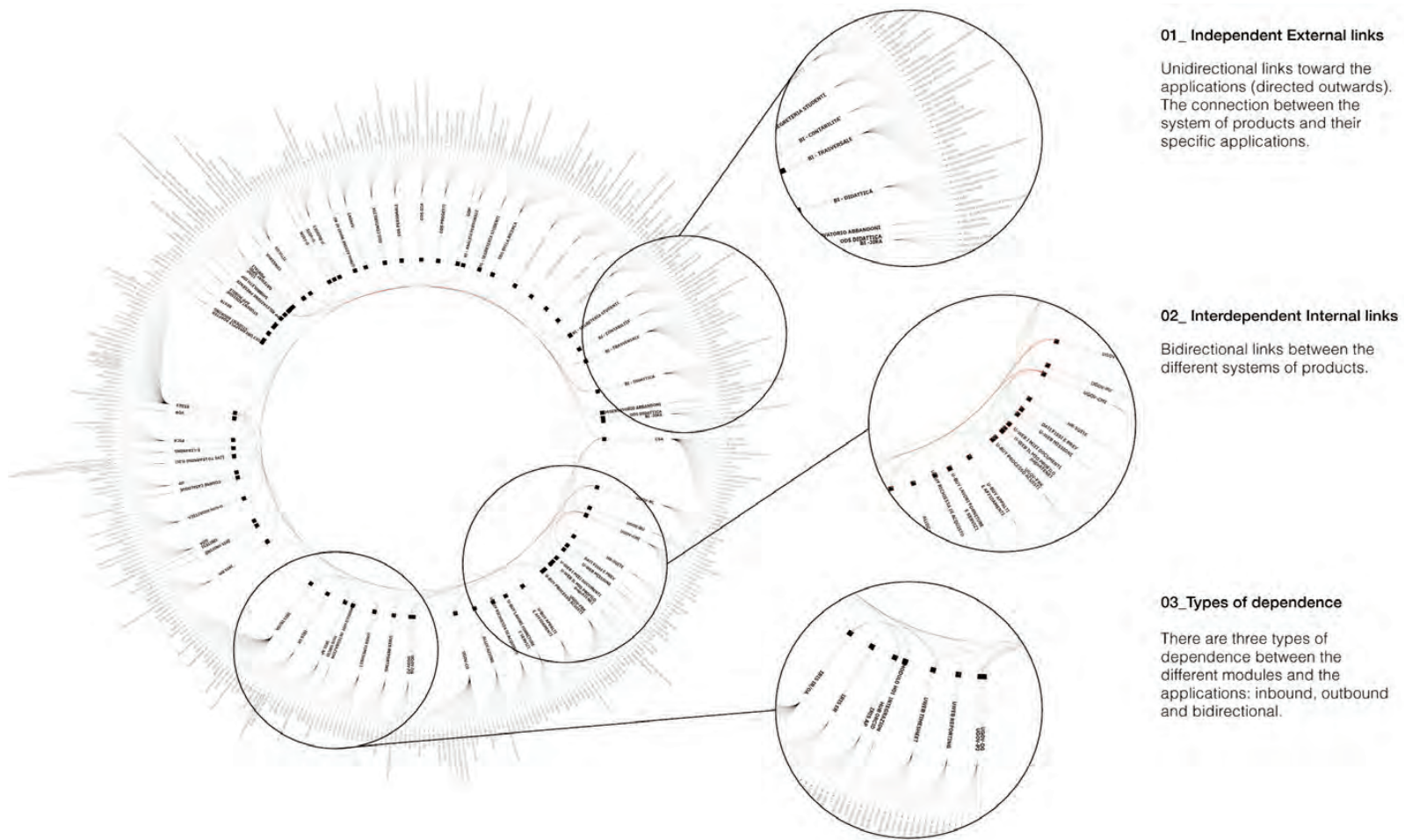
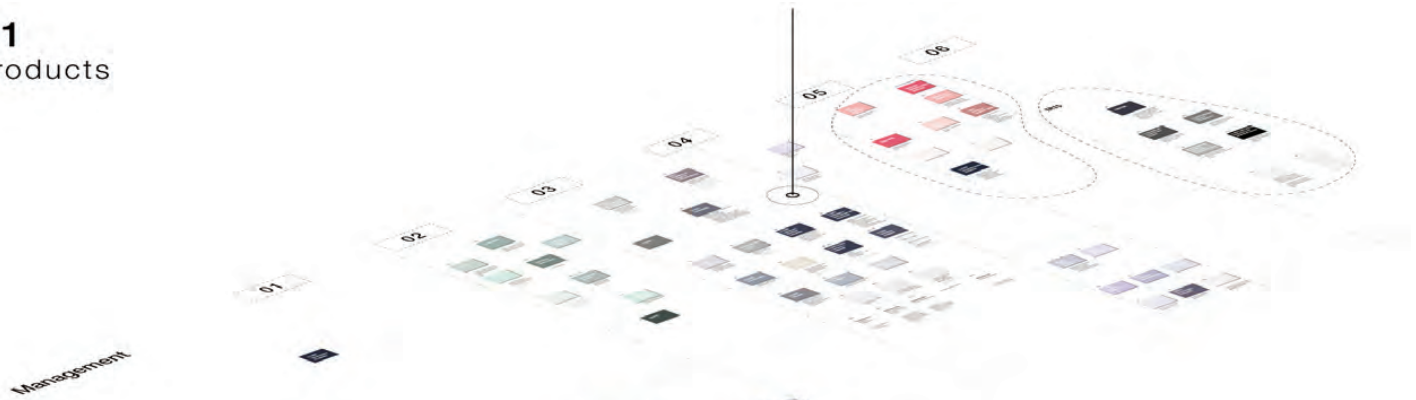


Fig. 7 | New classification of CINECA products: concept map 'C' – connections between products (credit: D. Bruno, 2022).

Fig. 8 | New classification of CINECA products: concept map 'C' – applications classified by subject area (credit: D. Bruno, 2022).

Layer_01
Existing Products



Layer_02
Existing Products with integrations



Layer_03
New Products



Fig. 9 | Multi-level connections of existent and integrated products (credit: D. Bruno, 2022).

tracting interest for the educational offer ('window looking' offer); enhancing the heritage of registrations; encouraging 'lifelong learning'.

In a context now characterised by global information networks, the dynamics of new knowledge creation need appropriate digital tools. The growing debate on 'open innovation' represents a clear signal of this path, while in the academic

field grows the availability of the so-called 'shared data resources', whose volume could become unmanageable by individual institutions (Chesbrough, 2003; Hansen and Birkinshaw, 2007). At the same time, the interest towards 'open publishing' grows, fueled by an increasingly wider community of scholars and researchers, inside and outside the University. This phenomenon

could have a greater impact on production dynamics and knowledge circulation beyond traditionally formed networks (Bernius, 2013).

The Research+ solution is framed in this context of need and integrates the functions of the IRIS article with a cluster of three modules digitalising some projects linked to research activities not included in IRIS. New digital technologies can

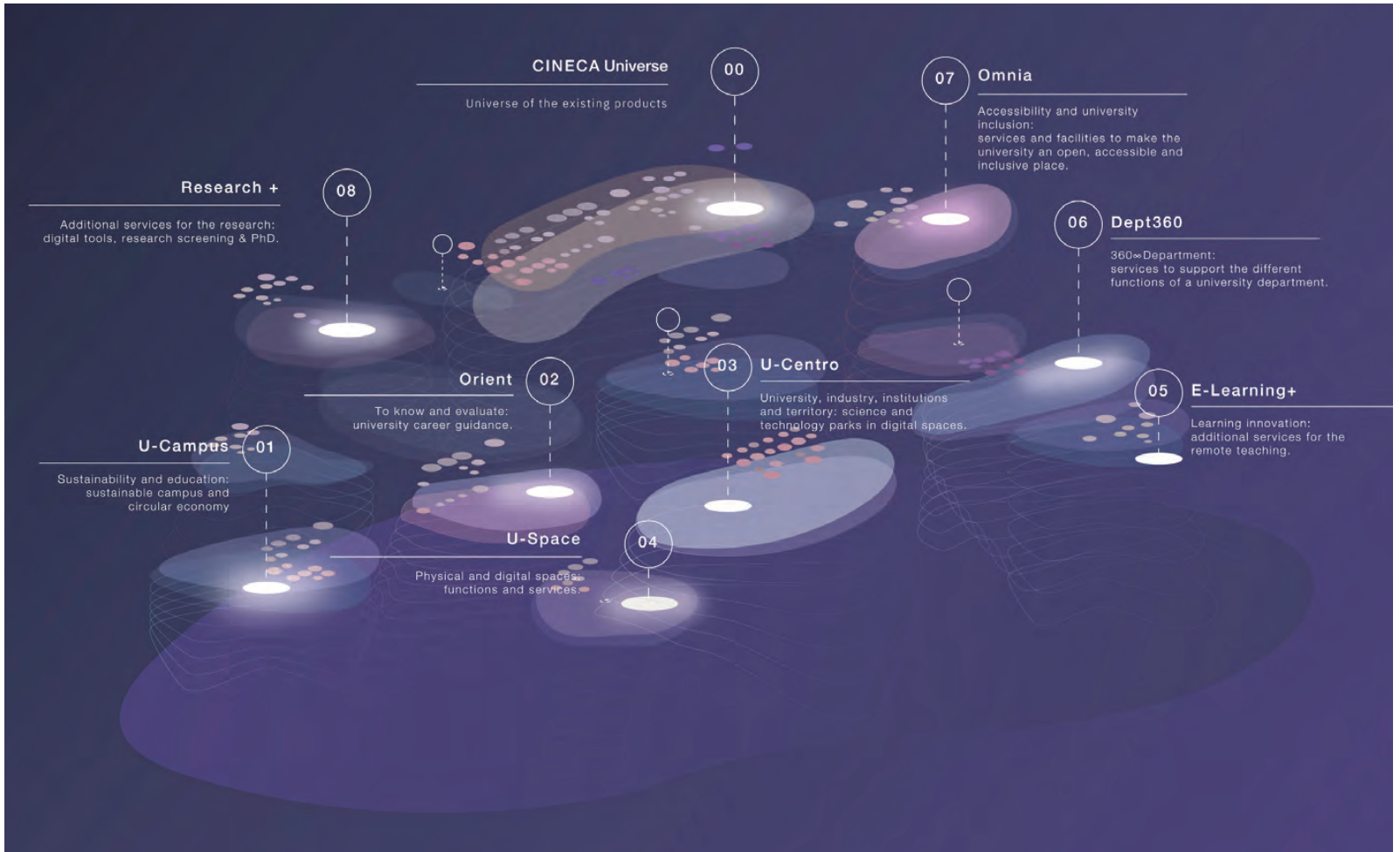


Fig. 12 | CINECA universe and new frontiers (credit: D. Bruno, 2022).

2017; Harvard University, 2022; University of Oxford, 2018).

For the Authors it was the starting point to make the first steps to a new approach based on the preliminary identification of intervention areas and later actions implementation and products to develop also with the aim to ease the problems that Italy will face over the next years to improve the university and scientific ranking on the international scale (Fig. 12). This will require policies focused on the three pillars of impact, global campus and the person in order to improve the contribution of the University to the society, scientific and technology innovation for sustainable and inclusive development; ensure physical and virtual spaces, and innovative services fostering the integration of students, lecturers, researchers, including international ones; emphasise human values and needs, to put them at the core of future paths, enhancing talents and abilities to grasp and tackle great technologic and social challenges.

In this paper, for synthesis, only three innovative and original articles at the design stage were selected and described: U-Campus, U-Space and U-Centre. In particular, U-Campus is the group of products destined to make the university Campus and part of the city a perfect example of the quality of life and environmental sustainability (European Commission, 2020). There are many actions to reach this particularly ambitious and qualifying purpose concerning highly diversified areas (environmental impact, energy consumption and waste reduction) aiming to a systemic

strategy of communication and education capable of involving workers of the Campus in a process of increasing awareness on sustainability issues (Adams et alii, 2016; Fig. 13).

In line with virtuous directions dictated by the best international universities, U-Campus wants to raise awareness on the social role of the university through the education to the culture of sustainability, facilitating the accreditation process as sustainable Campus (ISCN)³ and favouring the creation of synergic actions with local institutions concerning a 'sustainable vision' of the territory. Moreover, rewards intended mostly for students – to support activities to promote and enhance virtuous behaviours for sustainability – find in U-Campus necessary communication spaces.

The crisis caused by the pandemic has accelerated some transformation dynamics of teaching, work, mobility, and relations, fueling a debate that is still open. What impact do and will these transformations have on the use of the university's spaces? How can they be foreseen to direct new projects? What new forms of relationship with the city can be imagined?

To answer these questions there is U-Space. It is an application aimed at handling activities of a 'phygital' (physical + digital) Campus, where to merge digital tools with the quality of real space and services by rethinking the balance between physical and virtual spaces by integrating new functions in collaboration with external actors (Ratti and Claudel, 2019; UniMi, 2021). The digital world has a flexible and adaptable infrastructure

that offers activities personalisation possibilities and fosters new relation forms. The nature of some spaces (classrooms, offices) and transition spaces (outside classrooms and offices) can be reimagined to make them suitable for multiple functions. In the pervasiveness of activities mediated by the digital world, the physical space gains new fundamental importance as a meeting place and opportunity for spontaneous exchange.

The European paradigm of 'campus in the city' can be an opportunity for the development from which every actor of the urban ecosystem can benefit. Urban transformations require the ability to project in the long term and a systemic vision. In light of this possible scenario, it is possible to rethink connection spaces and mobility since the network of resources diffused in the city is connected and truly integrated to assess the opportunity to requalify the system of university residences inspired by accessibility and equity, also through new enhancement models for the built heritage (University building asset).

U-Centre is the group of products imagined to create a new vision of the University intended as the core of a complex and networked system, particularly suitable for the development of innovative projects and advanced technologies (Resch, Britter and Ratti, 2012; Acuto et alii, 2018). The paradigm of open innovation has defined the balances between actors in new knowledge ecosystems, linking University-industry-Institutions-territory. The third mission at the core of university policies produces a multitude of structures con-

necting Universities and businesses and an increase of policies aimed at strengthening technology transfer processes. U-Centre merges physical contact and digital space with the aim of a futuristic Campus where researchers and students can live, work and study in direct contact with public and private organisations (companies and start-ups) so that innovation, experience, ideas and research can circulate freely.

In Italy, the research was limited for too long to University while cross-contamination is the first

factor of development for a scientific and innovation pole. In this sense, U-Centre anticipates new relational, exchange, research, and knowledge creation models between the University and the reference ecosystem at local, national and international levels, with the aim to favour the relationship with the city; encourage the technological transfer; fuel the idea of 'global campus'; interact with the European university system ('enhance network' and 'scientific globalism'; Lee and Haupt, 2020).

From a critical comparison with selected international systems, it clearly emerges that Italy – compared to other European countries such as France, Germany and Spain – can count on a global system, highly inclusive and uniform. Since CINECA is an Inter-University Consortium formed by 112 public bodies of which 70 Universities, it is global and highly inclusive because the Consortium encompasses universities of all sizes (mega, large, medium and small) evenly distributed in Italy. Its unity is due to the support autonomously



Fig. 13 | The new Campus of the University 'La Statale' in Milan at MIND (credit: CRA-Carlo Ratti Associati, 2020).

offered by the HPC (High-Performance Computing) SCAI (SuperComputing Applications and Innovation) department to the activities of the whole Italian academic and research system. In France, the AMUE (Agence de Mutualisation des Universités et établissements d'enseignement supérieur ou de recherche) is a public interest group similar to CINECA, but it has not the same level of comprehensiveness and inclusiveness. In Spain, the 'Barcelona Supercomputing Centre-Centro Nacional de Supercomputación' (BSC-CNS) is the National High-Performance Computing Centre and International excellence e-science centre at the service of the university, scientific, and industry community needing HCP resources.

In Germany, in 2015, the 'German Council of Science and Humanities', an advisory body for the federal government on science-related matters, research and the higher education sector, has started the 'National High-Performance computing' (NHR) program. In 2021, based on it, it was created a consortium of nine university IT centres, which further differentiates the German scientific HPC scenario, with the aim to implement and coordinate a digital joint platform for applications.

The difference between the Italian, Spanish and German systems, concerns the number of consortium universities. The comprehensive nature of the Italian system facilitates the inclusiveness of peripheral and smaller universities with a more democratic and balanced growth vision of the whole national university system. Together with the previous information presented there is also the subject of 'self-determination' of the individual Universities. In Europe and in the world, the most prestigious universities have in common the need to create a Strategic University Plan, implementing measures oriented to the development of digital and technological management and functional systems (Lester, 2017; Harvard University, 2022; University of Oxford, 2018). In Italy, the METID of the Polytechnic University of Milan is the 'Innovation Teaching and Learning' Task Force to design tools and methods for teaching innovation and 'faculty development'. First, it emerges the need to highlight the multi and inter-disciplinary research to cross-contaminate knowledge based on the intersection of different disciplines to improve the lives of people and the state of the planet.

The strong multidisciplinary mission of the project, involving many ERC sectors, from social humanistic sciences (SH4_13), to physical sciences, information and engineering (PE6_2, PE6_4 and PE6_14) highlights the potential impact on the scientific international community and shows a fair level of replicability and transferability to international university settings outside Italy. A new concept of more effective and collaborative research will create equal opportunities for all researchers, regardless of their nationality or institutional background, fostering the integrity of research and the transparency of teaching and scientific communication. The possibility to combine great quantities of information with different origins will allow us to carry out 'mission-oriented' actions envisaged by Horizon Europe to address the challenges of the planet and society.

Limits of the design proposal and barriers |
The limits of the design proposal can be traced

back, in the first place, to a lack of dialogue with ministerial departments. The implementation of the Bologna⁴ Process, together with the slow and complex Italian regulatory processes, makes the Italian academic system change slowly and not capable of implementing autonomy policies. In particular, the affiliation to the Public Administration makes it really difficult to take virtuous innovation paths in the organisation. Moreover, we want to highlight that, up-to-date, economical, juridical and cultural barriers prevent the majority of researchers and citizens from network access to research processes and results and also teaching resources.

The evolution of observation and experimental methods with a large stream of data challenges the openness, transparency and effectiveness of the sharing process, but, at the same time, introduces an unlimited number of possibilities for research and innovation. The networking of texts and data/results created by experiments, observations, investigations, numerical and IT science simulations, following the criteria of open science and open access to FAIR data – Findable, Accessible, Interoperable and Reusable (MUR, 2022), will make the development of innovative tools possible and will foster new types of knowledge, in a multidisciplinary and interdisciplinary way.

However, controversial ideas and signals are going in the opposite direction of the advantages of technological evolution even if they can contribute to strong democratisation and diffusion of knowledge, both on the research and education levels. It is observed that the interest in new models oriented towards the above-mentioned 'shared data resources' and 'open publishing' could have a greater impact on production dynamics and knowledge circulation beyond traditionally formed networks, and question the very model of the University.

This phenomenon brings up two key points for the whole university system. First, the need to develop selective and critical needs to verify the reliability of data and information coming from this 'grey area' of knowledge, whose authenticity and certification levels are not always known. Second, the university Campuses could modify their meaning, shifting from being 'places' dedicated to the creation and transmission of knowledge, intended as one-way and exclusive processes. Their appeal could depend on the ability to provide researchers and students with socialisation, experimentation creative and collaborative workspaces. Some varied experiments are already taking place both in the USA and Asia, while in Europe the university system seems more conservative and slow to change, also because it is often blocked by public policies (Curaj et alii, 2015; Carey, 2016).

Conclusions and recommendations for actors involved | It is increasingly important for Universities to gain an active and responsible role concerning the great global challenges of our times, whose complexity and scale make emerge the need to create new ideas and solutions, develop strategies and act to make the academic community regain its primary role, with benefits for the whole society.

From this context and within the wide and still open scientific debate, originates this ambitious

collaborative project validated by outstanding examples in the world's leading universities (Massachusetts Institute of Technology, Harvard University, and the University of Oxford, for example), and also in the scientific, economic, digital applications fields, and many other suggestions useful to create new ideas and visions. The final aim is to design and develop a complex management system on different levels, networked and integrated that responds to multiple organisational and management needs of Universities, making them increasingly complementary to the reference territorial model and favouring their positioning in international rankings.

In this sense, it is interesting to notice the link between rankings of university systems and rankings of country systems. For instance, looking at the Global Attractiveness Index we see a significant connection between highly popular countries and their position in the top 100 Universities in the most known rankings, determined by Qs, the most famous, or THE⁵. Therefore, what does it mean for Italian Universities to have a competitive horizon? Firstly, it means finding an agreement between the stakeholders on the principles and determining the necessary rules to transform intentions into tangible results.

The debate on the future of education at the international level is often monopolised by the potential transformation role of digital technologies. Considering them as a tool to support education, not necessarily used as a substitute, is an alternative idea. Although the perspective creates differing opinions, it seems possible to imagine that even with the wealth of online content given by the best universities in the world, physical interaction will tend to prevail for many reasons. The most convincing reason is considering the university period a fundamental step in the coming-of-age of students, in which the relational and experiential dimension plays a key role. This cannot be replaced by virtual education forms, because they will miss social relations, team dynamics, the personal professor-student dialogue, and the experimental and laboratory dimension.

In order to overcome economic, juridic and cultural barriers, it is necessary to explore the possibility of proactively interpreting the contextual constraints, flexibly experimenting with handling models and new solutions, without too rigid decision-making processes, which must be able to guarantee the development of long-term cultural and scientific projects. Therefore, it would be desirable to foster coordination and synergy between all the actors involved, i.e. Parliament and the Government, the Evaluation Agency, research infrastructures, research bodies and Universities, and the CUN. Involve the actors of the system in clear and measurable objectives in order to imagine, in the immediate future, the creation of an inter-university research centre as a tool to join and enhance different competencies and consolidate a true national study centre of university and higher education systems. The ability to create these different perspectives would provide the opportunity to reiterate that the dialectic ideas are the true virtue of the University, what makes it what it is even after a more than one-thousand-year-old history, having changed many times, but always in the wake of a complex and ideal identity.

Acknowledgements

The paper is the result of a joint reflection by the Authors. The study activity is part of the requirements of the 2030 University Programme of the CINECA Inter-University Consortium. It is part of a scientific consultancy contract signed in 2021 by CINECA and professor D. Bruno, who coordinates a multidisciplinary working group, in combination with the National Plan for Open Science 2021-2027. The authors would like to thank D. Vannozzi (General Director), M. Tani (Head of Administration, Finance & Control), G. Scillia (Head of University and Research), and P. Malfetti (Chief Cloud Officer) of CINECA, for the passion and enthusiasm demonstrated while actively participating and collaborating to the realisation of the project already in the executive development phase.

Notes

1) CINECA is a University not-profit Consortium, made up of 112 members: 2 Italian Ministries, 70 Italian Universities and 40 Italian National Institutions. CINECA (Consorzio Interuniversitario per il Calcolo Automatico dell'Italia Nord Orientale), established in 1969, today is the largest Italian computing centre, one of the most important worldwide. CINECA is subjected to the authority of the Italian Ministry of Universities and Research, at the service of the academic system and Italian research, supports the activities of the scientific community through supercomputing and its applications, builds management systems for university Administrations and the MUR, designs and develops information systems for Public Administration, Healthcare and businesses.

2) Agenzia per l'Italia Digitale (AgID) is a public Italian agency created by Monti government in 2012. Subjected to the direction and supervision of the President of the Council of Ministers, it has functions and tasks assigned by law in order to pursue the highest level of technological innovation in the organisation and development of Public Administration and it is at the service of citizens and businesses, in compliance with the principles of law, impartiality and transparency and following criteria of efficiency, effectiveness and cost-effectiveness.

3) The International Sustainable Campus Network (IS-CN) is a global forum to support the most important Colleges, Universities and Campuses on information, ideas and good practices exchange to reach sustainability at the campus, research and teaching level. To find out more see the website: international-sustainable-campus-network.org/ [Accessed 24 September 2022].

4) The Bologna Process, in 1999, was an intergovernmental cooperation agreement in the field of higher education. The initiative was launched with the Bologna Process at the Conference of European Ministers Responsible for Higher Education, signed in Bologna in June 1999 and inspired by the previous meeting of Ministers from France, Germany, Italy and the United Kingdom in 1998 (Sorbonne Declaration, 1998). The aim was to create a European Higher Education Area based on principles and criteria shared by the participating countries.

5) QS World University Rankings is an annual international publication of university rankings published by Quacquarelli Symonds (QS). One of the best-known university rankings in the world together with the Times Higher Education World University Rankings (THE).

References

Acuto, M., Parnell, S., Seto, K. C. and Contestabile, M. (2018), *Science and the Future of Cities*, Report of the International Expert Panel on Science and the Future of Cities, London and Melbourne. [Online] Available at: nature.com/documents/Science_and_the_future_of_cities.pdf [Accessed 24 September 2022].

Adams, R., Jeanrenaud, S., Bessant, J., Denyer, D. and Overy, P. (2016), "Sustainability-oriented Innovation – A Systematic Review", in *International Journal of Manage-*

ment Reviews, vol. 18, issue 2, pp. 180-205. [Online] Available at: doi.org/10.1111/ijmr.12068 [Accessed 24 September 2022].

Akao, Y. (ed.) (1990), *Quality Function Deployment*, Productivity Press Cambridge (MA).

Bernius, S. (2013), "The impact of open access on the management of scientific knowledge", in *Online Information Review*, vol. 34, issue 4, pp. 583-603. [Online] Available at: doi.org/10.1108/14684521011072990/full/html [Accessed 24 September 2022].

Carey, K. (2016), *The End of College – Creating the Future of Learning and the University of Everywhere*, Riverhead Books, New York.

Chesbrough, H. W. (2003), *Open Innovation – The new imperative for creating and profiting from technology*, Harvard Business Press, Boston.

Clark, B. R. (1986), *The higher education system – Academic organizations in cross-national perspective*, University of California Press, Berkeley (CA).

Curaj, A., Matei, L., Pricopie, R., Salmi, J. and Scott, P. (2015), *The European Higher Education Area Between Critical Reflections and Future Policies*, Springer, Berlin.

Davidson, N. C. (2011), *Now you see it – How technology and brain science will transform School and Business in the 21st Century*, Penguin Book, New York.

de Ridder-Symoens, H. (2003), *A History of the University in Europe – Universities in the Middle Ages*, vol. 1, Cambridge University Press, Cambridge.

Edmondson, A. and Saxberg, B. (2017), "Putting lifelong learning on the CEO agenda", in *McKinsey Quarterly*, September. [Online] Available at: mckinsey.com/business-functions/people-and-organizational-performance/our-insights/putting-lifelong-learning-on-the-ceo-agenda [Accessed 24 September 2022].

European Commission (2020), *100 Climate-Neutral Cities by 2030 – By and for the Citizens, Interim Report of the Mission Board for Climate-Neutral and Smart Cities*. [Online] Available at: research-and-innovation.ec.europa.eu/knowledge-publications-tools-and-data/publications/all-publications/100-climate-neutral-cities-2030-and-citizens_en [Accessed 24 September 2022].

Frey, C. B. and Osborne M. A. (2015), *Technology at Work – The Future of Innovation and Employment*. [Online] Available at: oxfordmartin.ox.ac.uk/downloads/reports/Citi_GPS_Technology_Work.pdf [Accessed 24 September 2022].

Governa, F. (2015), "Città e processi di urbanizzazione, fra tendenze e modelli", in *Scienze del Territorio | Rivista di Studi Territoriali*, n. 3, pp. 68-77. [Online] Available at: doi.org/10.13128/Scienze_Territorio-16251 [Accessed 24 September 2022].

Hansen M. T. and Birkinshaw, J. (2007), "The Innovation Value Chain", in *Harvard Business Review*, June 2007. [Online] Available at: hbr.org/2007/06/the-innovation-value-chain [Accessed 24 September 2022].

Harvard University (2022), *Report of the Harvard Future of Teaching and Learning Task Force – Reimagining the Classroom, Enriching Content, and Expanding the Harvard Community*. [Online] Available at: flltaskforce.harvard.edu/files/future-teaching-learning/files/harvard_ftl_final_3.8.22_2.pdf [Accessed 24 September 2022].

Homer Haskins, C. (2013), *The Rise of Universities*, Cornell University Press.

Ito, J. and Howe, J. (2017), *Al passo col futuro – Come sopravvivere all'imprevedibile accelerazione del mondo*, Egea, Milano.

Kerr, C. (1995), *The Use of Universities*, Harvard University Press, Cambridge (MA).

Lee, J. J. and Haupt, J. P. (2021), "Scientific globalism during a global crisis – Research collaboration and open access publications on Covid-19", in *Higher Education*, vol. 81, pp. 949-966. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s10734-020-00589-0#citeas [Accessed 24 September 2022].

Lester, R. K. (2017), *A Global Strategy for MIT, Massachusetts Institute of Technology*. [Online] Available at: web.mit.edu/globalstrategy/A_Global_Strategy_For_MIT_May2017.pdf [Accessed 24 September 2022].

Mazur, E. (1997), *Peer Instruction – A User's Manual*, Pearson Education, London.

Milanovic, B. (2016), "This Chart Reveals the Most Dramatic Change in Incomes Since the First Industrial Revolution", in *World Economic Forum*, 05/07/2016. [Online] Available at: weforum.org/agenda/2016/07/this-chart-reveals-the-most-dramatic-change-in-incomes-since-the-first-industrial-revolution [Accessed 24 September 2022].

MUR – Ministero dell'Università e della Ricerca (2022), *PNR 2021-2027 – Programma Nazionale per la Ricerca – Piano Nazionale per la Scienza Aperta*. [Online] Available at: mur.gov.it/sites/default/files/2022-06/Piano_Nazionale_per_la_Scienza_Aperta.pdf [Accessed 24 September 2022].

OECD (2020), *Digital Transformation and the Futures of Civic Space to 2030*, OECD Development Policy Paper, n. 29. [Online] Available at: oecd.org/dac/digital-transformation-and-the-futures-of-civic-space-to-2030-79b34d37-en.htm [Accessed 24 September 2022].

OECD (2019), *Going Digital – Shaping Policies, Improving Lives*, OECD Publishing, Paris. [Online] Available at: doi.org/10.1787/9789264312012-en [Accessed 24 September 2022].

Polimi – Politecnico Milano (2020), *Politecnico di Milano – Piano strategico 2020-2022*. [Online] Available at: polimi.it/fileadmin/user_upload/il_Politecnico/piano-strategico/piano_strategico_2020.pdf [Accessed 24 September 2022].

Ratti, C. and Claudel, M. (2019), "SENSEable CITY", in Del Signore, M. and Riether, G. (eds), *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_SenseableCity_UrbanMachines.pdf [Accessed 24 September 2022].

Regini, M., Manfredi, G. and Viesti, G. (2020), *Scenari socio-economici del post-Covid – Quale impatto sull'Università?*, UNIMI 2040, Discussion Papers n. 2, Milano University Press, Milano. [Online] Available at: doi.org/10.13130/unimi2040.21 [Accessed 24 September 2022].

Resch, B., Britter, R. and Ratti, C. (2012), "Live Urbanism – Towards SENSEable Cities and Beyond", in Rassaia, S. T. and Pardalos, P. M. (eds), *Sustainable Environmental Design in Architecture – Impacts on Health*, Springer Optimization and Its Applications, vol. 56, Springer, New York, pp. 175-184. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-1-4419-0745-5_10 [Accessed 24 September 2022].

Roco, M. C., Bainbridge, W. S., Tonn, B. and Whitesides, G. (2013), *Convergence of Knowledge, Technology and Society – Beyond Convergence of Nano-Bio-Info-Cognitive Technologies*, Springer, Berlin. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-319-02204-8 [Accessed 24 September 2022].

Sassen, S. (2015), *Expulsions – Brutality and Complexity in the Global Economy*, Harvard University Press, Cambridge.

UniMi – Università degli Studi di Milano (2021), *Il Campus della Statale a Mind – Ricerca e innovazione per la società del terzo millennio*. [Online] Available at: unimi.it/sites/default/files/2021-02/IlCampusDellaStataleAMind_2021-01-20.pdf [Accessed 24 September 2022].

University of Oxford (2018), *University of Oxford Strategic Plan 2018-23*. [Online] Available at: ox.ac.uk/sites/files/oxford/field/field_document/Strategic%20Plan%202018-23.pdf [Accessed 24 September 2022].

L'ARCHIVIO DIGITALE PER I PROCESSI DI ALTO ARTIGIANATO

Ricerche a confronto in Italia e Cina

DIGITAL ARCHIVE FOR HIGH-END CRAFTSMANSHIP PROCESSES

Comparing research paths in Italy and China

Gabriele Goretti, Margherita Tufarelli, Qian Xiaobo

ABSTRACT

Il contributo affronta la digitalizzazione del Patrimonio Intangibile custodito dai processi artigianali tradizionali dei distretti manifatturieri delle PMI tramite un confronto di due casi di studio. Due distinti territori produttivi – mobili e complementi in Toscana (Italia) e argenteria Miao nella Provincia di Guizhou (Cina) – sono indagati in termini di caratteristiche, strutture e capacità di accesso all'innovazione tecnologica. Dall'analisi emerge un ruolo privilegiato dell'archivio digitale, come catalizzatore di processi creativi e organizzativi, poiché da un lato favorisce la costruzione di una memoria organizzata e trasmissibile che supporta le PMI nella competitività dei mercati, dall'altro funge da base per lo sviluppo di processi di user-experience mirati alla divulgazione e al reinserimento nel contesto del design contemporaneo.

This article approaches the digitisation of the Intangible Heritage preserved by the traditional craft processes of SME manufacturing districts through a comparison of two case studies. Two distinct manufacturing areas – furniture and accessories in Tuscany (Italy) and Miao silverware in Guizhou Province (China) – are investigated in terms of their characteristics, structures and capacity to access technological innovation. The proposed analysis highlights on emerges a privileged role of the digital archive as a catalyst of creative and organisational processes. On the one hand, it favours the construction of an organised and transmissible memory that supports SMEs in their market competitiveness. On the other, it serves as a basis for developing user-experience processes aimed at dissemination and reintegration in the context of contemporary design.

KEYWORDS

processi di digitalizzazione, archivi digitali, cluster manifatturieri, processi produttivi, patrimonio immateriale

digitisation processes, digital archives, manufacturing clusters, production processes, intangible heritage

Gabriele Goretti, PhD, is an Associate Professor and Scientific Head of the International Joint Lab B-FED (Brand Future Experience Design) at the School of Design, Jiangnan University (China). He conducts research between Academia and SMEs, intending to highlight the intangible values of craftsmanship through interactive digital devices. E-mail: 8202001218@jiangnan.edu.cn

Margherita Tufarelli, PhD, is a Researcher at DIDA (Department of Architecture), Design Campus section, at the University of Florence (Italy). Her research focuses on the study of interactions and connections between Cultural Heritage and digital technologies through the lens of design culture. E-mail: margherita.tufarelli@unifi.it

Qian Xiaobo, PhD, is an Associate Professor and Head of the Department of Product Design, Scientific Head of the International Joint Lab B-FED (Brand Future Experience Design), School of Design, Jiangnan University (China). E-mail: qianxiaobo@jiangnan.edu.cn



Le piccole e medie imprese (PMI) manifatturiere ad alta componente artigianale oggi si trovano ad affrontare sfide di portata indubbiamente globale, ma con effetti percepibili maggiormente nella dimensione locale, che quindi richiedono azioni puntuali e mirate a fronteggiarle. La transizione digitale e quella sostenibile provocano intense ricadute sulle catene del valore (Schwab, 2017), incidendovi in termini operativi, organizzativi e gestionali (Nambisan et alii, 2017; Epifani, 2020). Le PMI di artigianato tradizionale, spesso spina dorsale di molti sistemi produttivi (Brozzi et alii, 2018), possono quindi trarre vantaggio dalle specificità locali (Floridi, 2020), proiettandole in un contesto digitale globale che preservi il Patrimonio e il saper fare produttivo (Zabulis et alii, 2019). L'artigianato tradizionale rappresenta, infatti, una delle espressioni più tangibili del Patrimonio Immateriale, in cui la connessione tra oggetti e pratiche (Harrison et alii, 2020) genera manufatti, ma anche materiali, strumenti, conoscenze e abilità legate alla loro realizzazione che contribuiscono a dare forma e sostanza a un senso di identità condiviso (UNESCO, 2003).

Collocandosi in tale scenario di riferimento il contributo affronta i percorsi di digitalizzazione del Patrimonio Immateriale nell'ambito dei processi artigianali tradizionali dei distretti manifatturieri tramite un confronto tra progetti di ricerca svolti dagli autori all'interno di due distinti territori produttivi – mobili e complementi d'arredo in Toscana (Italia) ed argenteria Miao nella provincia di Guizhou (Cina). L'obiettivo è indagare la capacità di accesso all'innovazione tecnologica nei distretti che coniugano radicate competenze artigiane con i processi industriali più avanzati, oltre al contributo del design nel favorire tali percorsi di contaminazione. L'articolo si struttura come segue: nella prima parte si introduce il tema del Patrimonio dell'Artigianato, con particolare riferimento ai distretti manifatturieri, successivamente si affrontano le caratteristiche peculiari dei distretti oggetto di studio, integrandone la lettura negli specifici contesti nazionali – nel caso dell'Italia anche europei – in termini di politiche e programmi di sviluppo.

Italia: archivio digitale per la memoria e la competitività sui mercati | I distretti manifatturieri italiani si compongono di una costellazione di PMI caratterizzate da un'articolata differenziazione produttiva e da una struttura collaborativa basata su meccanismi di scambio e fiducia in cui la componente artigianale incide fortemente sul vantaggio competitivo delle imprese (Rullani, 2014). Ciò contribuisce a definire uno specifico modello produttivo (Becattini, 2004) in grado di trasferire gli aspetti culturali del territorio e i valori immateriali del Made in Italy in un prodotto riconoscibile per l'estetica forte e significativa (Morace and Lanzone, 2010). La cornice di valori risultante dalla connessione tra creatività, cultura e specificità territoriali non può essere considerata scindibile dai fenomeni produttivi e da antiche tradizioni di lavorazione di certi materiali nel ruolo di rilievo che il design di prodotto e di processo ha sempre ricoperto nei contesti produttivi italiani, la cui caratteristica costitutiva consiste nella capacità endogena di creare collegamenti tra il pensiero tecnico e il pensiero umanistico (Celaschi, 2017), traducendoli in un valore strategico che rende le dinamiche progettuali e produttive italiane una forma di produzione culturale.

I cambiamenti profondi proposti dalla trasformazione digitale si trovano a incidere fortemente sui modelli di business delle PMI (Matarazzo et alii, 2021), provocando modifiche sostanziali nell'organizzazione dei processi progettuali e produttivi, così come nelle relazioni con i fornitori e con i clienti. È così emersa l'esigenza, per le PMI artigianali italiane, di rinnovamenti strutturali e organizzativi, per acquisire e generare valore conservando il loro sapere specifico (distintivo e originale) e proiettandolo in una logica globale che ne valorizza la differenza. Il Patrimonio inizia così a essere interpretato da alcune imprese trainanti come valore aggiunto di prodotti e servizi, in quanto sintesi di un sottoinsieme di attributi immateriali simbolici (Mosca, 2017). Lo strumento principale di questo tipo di strategie è rintracciabile nell'archivio storico dal quale possono derivare una serie di ulteriori opportunità strettamente connesse.

Alcune PMI trainanti hanno quindi intrapreso un percorso di ricostruzione tra la dimensione materiale dei manufatti e quella immateriale delle conoscenze e competenze, valorizzando l'identità e il Patrimonio d'impresa. In questo percorso gli archivi digitali hanno assunto un ruolo prioritario nell'interazione tra Patrimonio dell'Artigianato e creatività contemporanea, per ispirare il design di nuovi prodotti, innescare nuovi progetti, preservare e trasmettere la memoria (in continua evoluzione) e i saperi. Gli archivi diventano quindi strumenti per la fruizione e l'applicazione delle conoscenze storiche nelle attività progettuali quotidiane, che diventano così knowledge-centred (Lupo, 2019).

Anche se le PMI del Made in Italy dimostrano di aver acquisito consapevolezza sulle opportunità insite nella trasformazione digitale in termini di efficientamento, riduzione dei costi e flessibilità del lavoro, la situazione italiana è piuttosto disomogenea e si registra ancora una scarsa diffusione di competenze relative alla digitalizzazione. È poi da rilevare che la trasformazione digitale dei distretti manifatturieri di PMI è caratterizzata da alcuni fattori comuni: innovazione tecnologica nei processi produttivi tramite trasferimento tecnologico da altri contesti produttivi (es. automotive o fashion); valori dell'artigianato salvaguardati, pur implementando l'innovazione tecnologica nella/della filiera; miglioramenti della pianificazione, della produzione e del time-to-market, approvvigionamento dei materiali, tracciabilità e certificazione dell'autenticità del prodotto; coinvolgimento dell'utente finale nella comunicazione dei valori produttivi e dei servizi di customizzazione del prodotto.

Il valore materiale e immateriale del Patrimonio dell'Artigianato è ormai riconosciuto, a livello nazionale e internazionale, come volano per lo sviluppo di società più coese e attente agli SDGs dell'Agenda 2030 (Sachs et alii, 2022). In particolare la Commissione Europea ha messo in atto negli ultimi vent'anni molte iniziative per valorizzare questi processi come l'Agenda Culturale Europea (European Commission, 2018), Europa Creativa (European Commission, 2021a) e più recentemente anche l'iniziativa New European Bauhaus (European Commission, 2021b); quest'ultima è di rilevante interesse perché finalizzata a rafforzare i legami tra il mondo della cultura-creatività e quello della produzione, della scienza e della tecnologia, per guidare la transizione ecologica indicata

dall'European Green Deal (European Commission, 2019) e da Next Generation EU¹ (Fondazione Symbola, 2020). Da questo punto di vista il Patrimonio dell'Artigianato rappresenta una risorsa di assoluto rilievo perché rinnovabile, attuabile, ricombinabile, che più viene utilizzata, più aumenta di valore.

Caso di studio: Savio Firmino | L'azienda Savio Firmino opera dal 1941 nell'area fiorentina nel settore dell'arredo e del complemento, prima come bottega artigiana e poi come PMI, differenziando progressivamente il proprio prodotto con il consolidarsi dei mercati internazionali di riferimento. Nel 2013 Savio Firmino avvia un lungo processo di ristrutturazione e riorganizzazione della produzione attraverso un Laboratorio congiunto di ricerca e sviluppo Università-Impresa per sperimentare le opportunità offerte dalla digitalizzazione dei processi manifatturieri, salvaguardando l'artigianalità come maggiore fonte di successo. Già in quegli anni era infatti percepibile la trasformazione tecnico-scientifica ed economico-produttiva che gli strumenti digitali erano in grado di apportare; così, di fronte a ritmi sempre più serrati imposti dalla competitività globale, è emersa la necessità di recuperare i saperi artigianali per valorizzarli immettendoli in processi di innovazione digitale.

Il Laboratorio congiunto ha previsto come primo step la digitalizzazione dell'archivio storico d'impresa attraverso tecniche di product reverse engineering. Si è quindi ottenuto – partendo da oggetti fisici – un 'digital twin', ossia un modello digitale pronto per essere reinterpretato, elaborato e immesso nei processi creativi e produttivi contemporanei. Grazie a queste esperienze di ricerca è stato possibile elaborare metodi e strumenti propri del design per sviluppare una procedura codificata di digitalizzazione attraverso scansione 3D (Fig. 1) per componenti storici aziendali composti da elementi altamente artistici, frutto di lavorazioni manuali, e da altri componenti industrializzabili (seriali).

Nella prima fase l'introduzione dell'archivio digitale ha permesso di: sviluppare il time-to-market e quindi una reazione efficace alle richieste del mercato; coordinare il dialogo e l'interazione tra i dipartimenti aziendali e i fornitori esterni; ottenere una tassonomia delle lavorazioni artigianali e dei processi più industrializzati nella filiera; creare una 'piattaforma di saperi e conoscenze' da condividere in azienda. L'archivio digitale di prodotti e componenti per la PMI è risultato propeedeutico all'ottimizzazione progettuale e produttiva tramite l'ausilio di modellazione 3D, software parametrici e processi di manifattura additiva. Successivamente, avere la conoscenza d'impresa organizzata e digitalizzata sotto forma di archivio ha consentito l'inserimento dei prodotti all'interno di contesti virtuali (Fig. 2), avvalendosi di strumentazioni avanzate di realtà aumentata e realtà virtuale per consentire applicazioni volte alla customizzazione dei prodotti e a soluzioni di avvicinamento agli utenti per l'interior design e per il contract e il residenziale di alta gamma (Fig. 3).

Cina: archivio digitale per la user-experience e il reinserimento nel contesto del design contemporaneo | In via generale, la cultura cinese ha due distinti sistemi di trasmissione della cono-

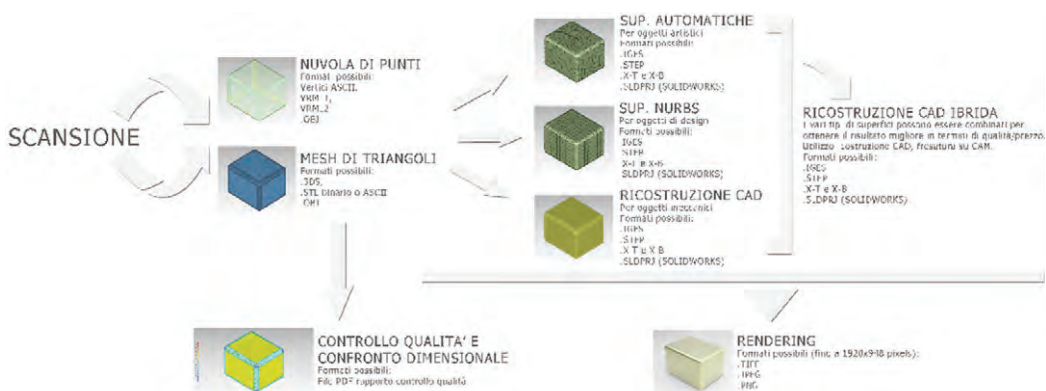


Fig. 1 | 3D scanning process developed in the Joint Laboratory (credit: University of Florence, 2014).

Fig. 2 | Product and environment configurator created after the digitisation of the archive (credit: University of Florence, 2018).

Fig. 3 | Savio Firmino, product customisation application (credit: University of Florence, 2017).

scienza, rispettivamente mediati dalla parola scritta² o dall'osservazione e da altri mezzi non testuali. Il sistema di conoscenza su cui solitamente si basa l'artigianato è duplice: da un lato, la struttura non testuale include informazioni specialistiche sui materiali, tecniche e forme; dall'altro, trasmette la conoscenza tramite la selezione, l'uso, la manutenzione, la conservazione, la qualità e la storia della miriade di oggetti che fanno parte della vita sociale. D'altro canto la presenza di una consolidata tradizione testuale di divulgazione del saper fare sancisce l'importanza nella cultura cinese di una 'narrazione' che ne codifica le qualità condivise dei riti e delle prassi artigianali. Un ulteriore aspetto peculiare dell'artigianato cinese riguarda il confine, raramente netto e identificabile, con l'arte. Solitamente sono gli attributi dei prodotti (ad es. la specificità del legame con la tradizione e l'identità etnica o la rilevanza del rapporto tra creatività e innovazione) che determinano l'appartenenza artistica o artigiana di prodotti e produttori (Wu and Wu, 2021).

Inoltre, la dimensione delle PMI risulta altamente miniaturizzata, in qualità di microimpresa,

con il tradizionale laboratorio come principale forma di produzione spesso inserita in reti che operano in stretta relazione con le autonomie locali. Il concetto di 'aura' della ritualità artigianale e di Genius Loci sotteso a queste pratiche (Fry et alii, 2017) resta vivido e intatto, ma spesso lontano dalle dinamiche del mercato. Collezionisti e amanti di produzioni tradizionali figurano solitamente come principali acquirenti di tali artefatti.

Coerentemente con le linee guida del Programma Made in China 2025, emanato dal Consiglio di Stato il 7 luglio 2015³, il Governo cinese sta promuovendo processi di digitalizzazione volti a rivalutare e divulgare il Patrimonio Immateriale che caratterizza i processi artigianali nazionali. Ciò è frutto di un crescente interesse nei confronti del Patrimonio Culturale, in termini di tutela e valorizzazione, a fronte anche del riconoscimento di un forte legame tra l'aumento del turismo interno nei luoghi ad alto valore culturale, lo sviluppo economico promosso dai governi nazionale e regionali e le 'risorse' del Patrimonio (Blumenfeld and Silverman, 2013). La visione cinese del coinvolgimento sociale nell'artigianato si manifesta princi-

palmente nel concetto di 'spirit of craftsmanship' il cui significato si deve a diversi fattori (Mazur-Włodarczyk, 2021): il Programma Made in China 2025; il passaggio dalla nozione di Made in China a Created in China che suggerisce non solo un grande potere manifatturiero, ma anche una consapevolezza creativa; il nuovo focus sulla 'qualità' del prodotto cinese; la creazione di nuovi futuri lavori di ricerca 'intellettuale' in ambito artigianale; il riferimento alle tradizioni artigianali antiche contaminate da percorsi di innovazione; l'incentivo e il consumo di beni prodotti a livello nazionale.⁴

A partire dal 2018, si riscontra l'emergere di linee di ricerca mirate a definire sistemi di promozione, protezione e salvaguardia del saper fare basate sull'introduzione di archivi digitali e forme attive di partecipazione da parte della filiera e degli utenti. Di assoluto rilievo lo studio di Cao Chaochan (2018) sull'artigianato tradizionale dell'argento nella provincia di Guizhou, dal quale emerge una mancanza di connessione tra i saperi, la tecnologia e il mercato contemporanei. Si promuove la creazione di database di lavorazioni tradizionali supportati da media digitali per esplorare attivamente le tecniche di lavorazione e definire processi di sviluppo in linea con lo scenario di mercato contemporaneo. Significativo è anche lo studio di Shi Lei et alii (2017) che esplora la fattibilità, la necessità ed i presupposti dell'applicazione di tecnologie AR per gli ornamenti d'argento Miao.

Caso di studio: lavorazioni artigianali Miao nella regione del Guizhou, Yunnan, Cina

La ricerca della Jiangnan University/School of Design mira a indagare l'applicazione della scansione 3D per l'argenteria con lo scopo di sviluppare una piattaforma digitale per l'esperienza interattiva e inclusiva per artigiani e clienti e, co-creata con i designer, per implementare nuovi metodi di progettazione e produzione. I contenuti principali della ricerca comprendono i seguenti punti: studiare una tassonomia di forme, modelli e processi di produzione degli articoli in argento e comprendere il valore tangibile e intangibile in essi contenuti; esplorare e prototipare l'applicazione delle tecnologie digitali nel settore argenteria; promuovere l'internazionalizzazione dell'artigianato dell'argento; realizzazione di casi pilota nella digitalizzazione dell'argenteria, attraverso l'acquisizione e la creazione di modelli digitali degli artefatti artigianali.

In una prima fase la ricerca si è svolta sul campo, nel Villaggio di Kongbai, nella Provincia del Gui-zhou, cuore del distretto della tradizione argenteria Miao (Fig. 4). Attraverso interviste e questionari si sono ottenute informazioni sui processi artigianali, poi ordinate e riassunte tenendo in considerazione attività e 'ritualità' dell'artigiano, valori umani del saper fare, contesto sociale, modalità di interazione tra artigiani e utenti, componenti e elementi di assemblaggio dei prodotti. Parallelamente all'indagine sul territorio del Guizhou, il gruppo di ricerca ha sviluppato uno studio di mercato sul segmento emergente degli amanti della storia cinese e 'craft trends', di cui fanno parte giovani interessati a esplorare contenuti emozionali dell'artigianato della tradizione attraverso il web e piattaforme social (Goretti, 2022). Il gruppo di ricerca ha quindi sviluppato user personas per poter ben definire possibili punti di in-

teresse degli utenti nell'approccio alle informazioni emozionali e alle tecniche dell'artigianato.

In una seconda fase la ricerca ha seguito due direzioni: una ricerca teorica di sfondo sulla storia dello sviluppo del saper fare Miao, sui valori della lavorazione dell'argento; lo sviluppo di una tassonomia di forme 'matrice' degli oggetti prodotti nel distretto del Guizhou. La tassonomia di forme 'matrice' mira a creare una classificazione delle decorazioni, per addizione e sottrazione, che caratterizzano i principali riferimenti estetici della tradizione Miao. Tale organizzazione di forme ha mirato alla creazione di componenti e oggetti digitali attraverso l'utilizzo di software di modellazione 3D free-form che includesse sia le forme principali del prodotto (ad esempio la forma principale della coppa o del vaso di riferimento) sia le decorazioni che per addizione o sottrazione vanno a caratterizzare l'artefatto. Tale procedimento ha seguito il processo operativo di creazione degli oggetti digitali sviluppati da Wu Qian⁵ nel 2016 e Liu Ling⁶ nel 2017.

Di particolare interesse per la ricerca è stato tema dell'interazione tra utente e archivio digitale (Fig. 5), sviluppando un sistema inclusivo di partecipazione e coinvolgimento dell'utente che potesse al meglio divulgare i valori e il fascino delle lavorazioni. Il progetto ha scelto di non seguire filologicamente precedenti esempi di applicazione di nuove tecnologie digitali immersive al tema dell'artigianato (Lei et alii, 2017), ma definire una tipologia di approccio 'duale' che da un lato illustra le forme e gli assemblati digitali di coppe e vasi di lavorazione Miao tramite la creazione di una piattaforma digitale, dall'altro sviluppa una installazione interattiva basata su microcontrollori applicati a postazioni di lavorazione simboliche e agli strumenti propri della tradizione artigianale (Fig. 6).

A gesti effettuati dall'utente nella postazione offline corrispondono forme e informazioni decorative nella visualizzazione dell'oggetto online. Ne risulta un binomio tra simulazione del fare manuale e visualizzazioni digitali, guidate dall'archivio digitale precedentemente impostato dal gruppo di ricerca. Prende corpo così un'esperienza ludica ma che permette allo stesso tempo processi di avvicinamento e comprensione fattiva del saper fare (Fig. 7). La piattaforma si pone inoltre come esperienza di co-creazione tra utente e artigiano, aprendo la strada a nuove opportunità di mercato guidate da processi di customizzazione e valori esperienziali.

Discussione e Conclusioni | La trasformazione digitale ha implicazioni di vasta portata per gli archivi, la cui importanza è cresciuta nei percorsi di ricerca di numerosi settori, diventando 'luoghi' di conservazione di un certo tipo di memoria organizzata, favorendone la diffusione in diversi spazi disciplinari, professionali e tecnologici (Gilliland, Lau and McKemish, 2021). L'analisi mette in luce territori di sperimentazione comuni nel ruolo dell'archivio digitale come elemento di innesco per l'introduzione di altri strumenti caratterizzanti la transizione digitale, ponendosi in rapporto con le tecnologie produttive e comunicative quotidiane (Giannachi, 2016). Inoltre questo strumento diviene fonte di ispirazione per il design che ne trae riferimenti per scelte progettuali in linea con le specifiche tecniche utilizzate nell'esecuzione, con-

sentendo alle PMI di sviluppare percorsi di artigianato avanzato (Fry et alii, 2017; Goretti, 2017) sviluppando nuovi processi di produzione e innovazione design-driven.

Dall'analisi dei due casi di studio risulta evidente come la memoria e le conoscenze acquisite, se interfacciate con un archivio digitale, potrebbero essere trasmissibili e avere valore al di fuori del contesto specifico che le ha generate, favorendo la salvaguardia e la trasmissione dei valori tangibili e intangibili del saper fare. Se da un lato però si riscontra un comune intento di documentazione e protezione date dall'archivio digitale, dall'altro è possibile individuare profonde differenze di approccio e obiettivi tra i due percorsi di digitalizzazione e nei servizi ad essi connessi.

Nel caso di studio italiano, lo sviluppo e l'impiego dell'archivio digitale riguarda sostanzialmente il miglioramento del time-to-market manifatturiero, della certificazione della qualità e della salvaguardia del know-how. Il caso Savio Firmino, sviluppando sistemi di visualizzazione e user-experience inclusiva attraverso la realtà virtuale ed aumentata compie un passo significativo nei confronti della comunicazione dei valori del prodotto attraverso le nuove tecnologie. Benché questo tipo di approccio sia stato positivamente sperimentato nell'occasione di rilevanti appuntamenti fieristici fin dal 2019, lo sviluppo di user-experience basate su sistemi di archivio digitale risulta ancora sporadico nella realtà italiana e con obiettivi non ben definiti (Fig. 8).

Il caso di studio cinese, invece, pone lo sviluppo di esperienze significative e inclusive dell'utente come obiettivo primario della digitalizzazione. Per ben comprendere questa scelta strategica occorre soffermarci su alcuni tratti salienti del contesto come la rilevante differenza tra i laboratori artigianali cinesi di stampo artistico e le piccole e medie imprese italiane di stampo artigianale. Quest'ultime, anche se di piccole dimensioni, hanno sviluppato una struttura industriale e una forte attitudine all'innovazione. Nei distretti artigianali cinesi invece l'avviamento all'innovazione è spesso gestito 'dall'alto' sotto la supervisione di autonomie locali e associazioni di categoria, puntando alla creazione di reti di artigiani sinergiche e collaborative.

Inoltre il contesto sociale cinese offre delle peculiarità non riscontrabili nel panorama europeo: in primis il valore di mercato della nuova classe di giovani consumatori e l'entusiasmo emergente per le nuove tecnologie (Goretti, 2022) incoraggiano lo sviluppo di esperienze e servizi user-centred che possano divulgare il potere evocativo della millenaria tradizione artigianale cinese. Questo fenomeno proprio del concetto di 'spirit of craftsmanship' traina quindi la crescente attenzione cinese sul 'ricongiungere' le pratiche artigianali allo sviluppo industriale e tecnologico.

Se da un lato però sono facilmente riscontrabili grandi potenzialità di sviluppo design-driven attraverso i processi di digitalizzazione, è opportuno riscontrare che il sistema degli operatori dell'artigianato 'tradizionale' risulta tutt'ora restio e 'sospettoso' rispetto all'introduzione delle tecnologie digitali. Nel caso italiano, nell'ambito di laboratori congiunti, il gruppo di ricerca accademico si è impegnato a sviluppare strumenti di comunicazione e condivisione della ricerca utili a

permettere l'accettazione da parte dell'artigiano di un nuovo linguaggio grafico e tecnico-descrittivo del prodotto: ne sono un esempio visualizzazioni del prodotto dall'archivio digitale che mantengono un carattere artistico e non eccessivamente ingegneristico. L'assetto delle PMI (come nel caso Savio Firmino) profondamente vocate all'innovazione e all'affrontare sempre nuove sfide di mercato ha efficacemente agevolato e velocizzato questo processi di integrazione tra innovazione e pratiche tradizionali.

Nel caso cinese questa sinergia presenta maggiori difficoltà e barriere: in primis, il sistema dell'alto artigianato cinese risulta profondamente legato al modello di microimpresa, che più si configura come atelier d'arte che come PMI; in secondo luogo, il rapporto tra produzione artigianale e la cultura dell'innovazione design-driven risulta attualmente a uno stato iniziale, anche se fortemente supportato dalle politiche governative. Riteniamo quindi che opportuni modelli di integrazione tra ricerca, formazione e impresa potranno rappresentare un importante campo di sperimentazione e avanzamento per tali processi di integrazione.

Today's small and medium-sized enterprises (SMEs) with a high craft component are facing challenges that are undoubtedly global in scope but with effects that are more perceptible in the local dimension, thus requiring timely and localised actions to address them. The digital and sustainable transition causes intense spillovers on value chains (Schwab, 2017), affecting them in operational, organisational and management terms (Nambisan et alii, 2017; Epifani, 2020). Traditional craft SMEs, which are often the backbone of many production systems (Brozzi et alii, 2018), can therefore take advantage of local specificities (Floridi, 2020), projecting them into a global digital context that preserves heritage and productive know-how (Zabulis et alii, 2019). Indeed, traditional craftsmanship represents one of the most tangible expressions of Intangible Heritage, where the connection between objects and practices (Harrison et alii, 2020) generates artefacts but also materials, tools, knowledge, and skills related to their realisation that contribute to giving shape and substance to a shared sense of identity (UNESCO, 2003).

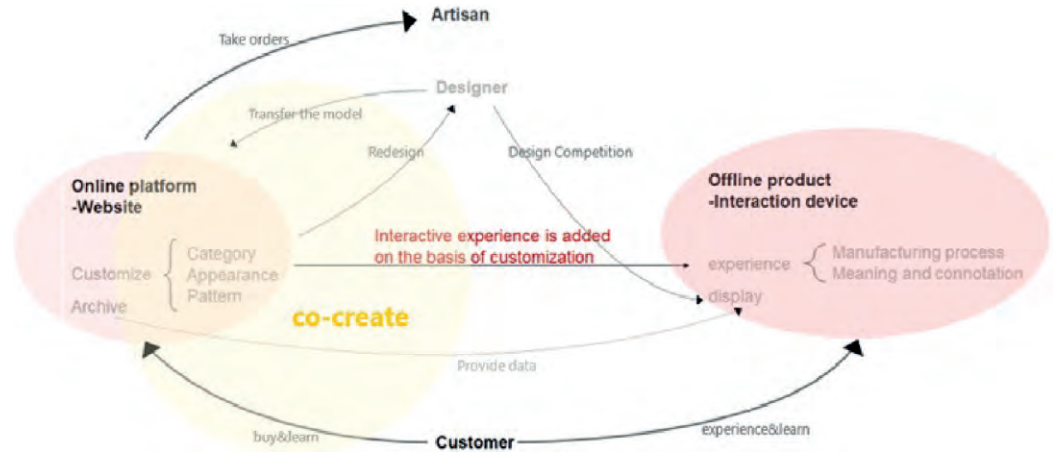
Against this background, the contribution addresses the pathways of digitisation of Intangible Heritage in the context of the traditional craft processes of manufacturing districts, through a comparison of research projects carried out by the authors within two distinct manufacturing areas – furniture and accessories in Tuscany (Italy) and Miao silverware in the province of Guizhou (China).

The aim is to investigate the ability to access technological innovation in districts that combine deep-rooted artisan skills with the most advanced industrial processes, as well as the contribution of design in fostering such fusion paths. The article is structured as follows: the first part introduces the theme of Handicraft Heritage, with particular reference to manufacturing districts, then the peculiar characteristics of the districts under study are addressed, integrating their interpretation in the specific national contexts – in the case of Italy



Fig. 4 | Handicrafts in Kongbai village (credit: Jiangnan University, 2021).

Fig. 5 | Map of the interaction between the online digital system and offline experiential workstation (credit: Jiangnan University, 2021).



also European – in terms of development policies and programmes.

Italy: digital archive for memory and competitiveness in the markets | The Italian manufacturing districts are composed of a constellation of SMEs, characterised by an articulated productive differentiation and a collaborative structure based on exchange and trust mechanisms in which the craftsmanship component strongly affects the competitive advantage of companies (Rullani, 2014). This helps to define a specific production model (Becattini, 2004) capable of transferring the cultural aspects of the territory and the intangible values of Made in Italy into a product recognisable for its solid and meaningful aesthetics (Morace and Lanzone, 2010). The value framework resulting from the connection between creativity, culture and territorial specificities are strongly related to production phenomena and ancient traditions of processing certain materials. These values are expressed in the prominent role that product and process design have always played in Italian productive contexts, whose constitutive characteristic consists in the endogenous capacity to constitute links between technical and humanistic thought (Celaschi, 2017), translating them into a strategic value that makes Italian design and production dynamics a form of cultural production.

The profound changes proposed by the digital transformation are strongly affecting the business models of SMEs (Matarazzo et alii, 2021), causing substantial changes in the organisation of design and production processes, as well as in relations with suppliers and customers. Thus, we highlight the emerging need of Italian craft SMEs for Italian craft SMEs to undergo structural and organisational renovations to acquire and generate value by preserving their specific, distinctive, and original knowledge. This production model enhances globally the Italian SMEs' character. Heritage thus begins to be interpreted by some leading companies as the added value of products and services, as a synthesis of a subset of symbolic intangible attributes (Mosca, 2017). The main instrument of this type of strategy can be found in the historical archive from which a series of further closely related opportunities can be derived.

Some leading SMEs have therefore embarked on a path of reconstruction between the material dimension of artefacts and the intangible dimension of knowledge and skills, enhancing corporate identity and heritage. In this path, digital archives

have assumed a priority role in the interaction between Crafts Heritage and contemporary creativity to inspire the design of new products, trigger new projects, and preserve and transmit the (evolving) memory and knowledge. Archives thus become tools for the use and application of historicised knowledge in everyday design activities, which thus become knowledge-centred (Lupo, 2019).

Although Italian SMEs show that they have become aware of the opportunities inherent in digital transformation in terms of efficiency, cost reduction and labour flexibility, the situation in Italy is somewhat uneven, and there is still a poor spread of digitalisation skills. It is also worth noting that the digital transformation of SME manufacturing districts is characterised by some common factors: technological innovation in production processes through technology transfer from other production contexts (e.g. automotive or fashion); values of craftsmanship safeguarded while implementing technological innovation in/on the supply chain; improvements in planning, production, time-to-market, material procurement, traceability and certification of product authenticity; and involvement of the end user in the communication of production values and product customisation services.

The tangible and intangible value of Craft Heritage is now recognised, nationally and internationally, as a driver for developing more cohesive societies attentive to the SDGs of Agenda 2030 (Sachs et alii, 2022). In particular, the European Commission has implemented over the last two decades many initiatives to enhance these processes, such as the European Cultural Agenda (European Commission, 2018), Creative Europe (European Commission, 2021a) and more recently also, the New European Bauhaus initiative (European Commission, 2021b); the latter is of relevant interest because it aims at strengthening the links between the world of culture-creativity and that of production, science and technology, in order to lead the ecological transition indicated by the European Green Deal (European Commission, 2019) and Next Generation EU¹ (Symbola Foundation, 2020). From this point of view, the Craft Heritage represents a resource of absolute importance because it is renewable, implementable, and combinable again. Furthermore, the more it is used, the more its relevance increases.

Case study: Savio Firmino | The company Savio Firmino has been operating since 1941 in the Flo-

rentine area in the furniture and complements sector, first as an artisan workshop and then as an SME, progressively differentiating its products with the consolidation of international reference markets. In 2013 Savio Firmino started a long process of restructuring and reorganising production through a joint University-Enterprise Research and Development Laboratory to experiment with the opportunities offered by the digitalisation of manufacturing processes, safeguarding craftsmanship as the primary source of success. Already in those years, the technical-scientific and economic-productive transformation that digital tools could bring was consistent; thus, faced with the ever-tighter pace imposed by global competitiveness, the need emerged to recover craftsmanship knowledge in order to enhance it by introducing it into digital innovation processes.

The joint workshop's first step involved digitising the company's historical archive through product reverse engineering techniques. A 'digital twin' was then obtained – starting from physical objects – i.e. a digital model ready to be reinterpreted, elaborated and fed into contemporary creative and production processes. Thanks to these research experiences, it was possible to elaborate design methods and tools to develop a codified digitisation procedure using 3D scanning (Fig. 1) for historical company components consisting of highly artistic, handcrafted elements and other industrialisable (serial) components.

In the first phase, the introduction of the digital archive made it possible to: improve time-to-market and thus an adequate reaction to market demands; co-ordinate the dialogue and interaction between company departments and external suppliers; obtain a taxonomy of the most industrialised handicrafts and processes in the supply chain; create a 'platform of knowledge and know-how' to be shared within the company. The SME's digital archive of products and components was preparatory to design and production optimisation with the help of 3D modelling, parametric software and additive manufacturing processes. Subsequently, having the business knowledge organised and digitised in the form of an archive allowed the products to be placed within virtual contexts (Fig. 2), making use of advanced augmented reality and virtual reality tools to enable applications aimed at product customisation and user-friendly solutions for interior design and high-end contract and residential applications (Fig. 3).

China: digital archive for user-experience and reinsertion in the context of contemporary design

Generally speaking, Chinese culture has two distinct knowledge transmission systems, respectively mediated by the written word² or by observation and other non-textual means. The knowledge system on which handicrafts are usually based is twofold: on the one hand, the non-textual structure includes specialised information on materials, techniques and forms; on the other hand, it transmits knowledge through the selection, use, maintenance, preservation, quality and history of the various objects that are part of social life. The presence of a well-established textual tradition of disseminating know-how enshrines the importance of a ‘narrative’ in Chinese culture that codifies the shared qualities of rituals and craft practices. A further particular aspect of Chinese handicrafts concerns the line with art, which is rarely clear-cut and identifiable. Usually, the attributes of the products (e.g. the specificity of the link to tradition and ethnic identity or the relevance of the relationship between creativity and innovation) determine the artistic or artisanal affiliation of products and producers (Wu and Wu, 2021).

Moreover, the size of SMEs is highly miniaturised; many are micro-enterprises, with the traditional workshop as the primary form of production often embedded in networks operating close relationships with local autonomies. The concept of the aura of craft ritual and genius loci underlying these practices (Fry et alii, 2017) remains vivid

and intact even if often far removed from market dynamics. Collectors and lovers of traditional works are usually the primary buyers of such artefacts.

Consistent with the guidelines of the Made in China 2025 Programme, issued by the State Council on 7 July 2015³, the Chinese government is promoting digitisation processes aimed at revitalising and disseminating the Intangible Heritage that characterises national craft processes. This is the result of a growing interest in Cultural Heritage, in terms of protection and valorisation, as well as the recognition of a strong link between the increase in domestic tourism in places with high cultural value, the economic development promoted by national and regional governments, and Heritage ‘resources’ (Blumenfield and Silverman, 2013).

The Chinese vision of social involvement in craftsmanship is mainly manifested in the concept of ‘spirit of craftsmanship’, the meaning of which stems from several factors (Mazur-Włodarczyk, 2021): the Made in China 2025 Programme; the shift from the notion of Made in China to Created in China suggesting not only great manufacturing power but also creative awareness; the new focus on the ‘quality’ of Chinese products; the creation of new future ‘intellectual’ research work in craftsmanship; the reference to ancient craft traditions blended by paths of innovation; and the encouragement and consumption of domestically produced goods.⁴

As of 2018, we have seen the emergence of lines of research aimed at defining systems for the promotion, protection and preservation of know-how based on the introduction of digital archives and active forms of participation by the supply chain and users. Of particular note is the Cao Chaochan’s (2018) study on traditional silver craftsmanship in Guizhou Province, which reveals a lack of connection between current knowledge, technology and the market. It promotes the creation of databases of traditional crafts supported by digital media to actively explore processing techniques and define development processes in line with the contemporary market scenario. Also significant is the study by Shi Lei et alii (2017) exploring the feasibility, necessity and prerequisites of applying AR technologies for Miao silver ornaments.

Case study: Miao handicrafts in the Guizhou region, Yunnan, China

The Jiangnan University/School of Design research aims to investigate the application of 3D scanning for silverware to develop a digital platform for an interactive and inclusive experience for artisans and customers that is co-created with designers, to implement new design and production methods. The main contents of the research include the following points: to study the taxonomy of forms, models and production processes of silver items and to understand the tangible and intangible value contained therein; to explore and prototype the appli-

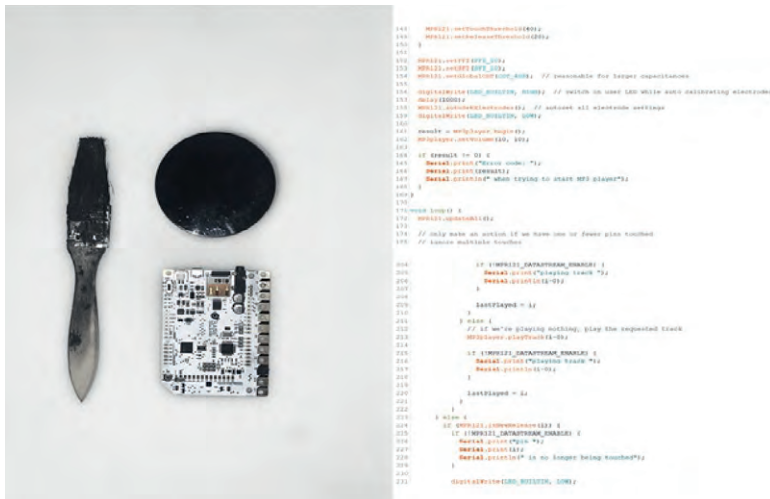


Fig. 6 | Microcontrollers applied to symbolic workstations (credit: Jiangnan University, 2021).

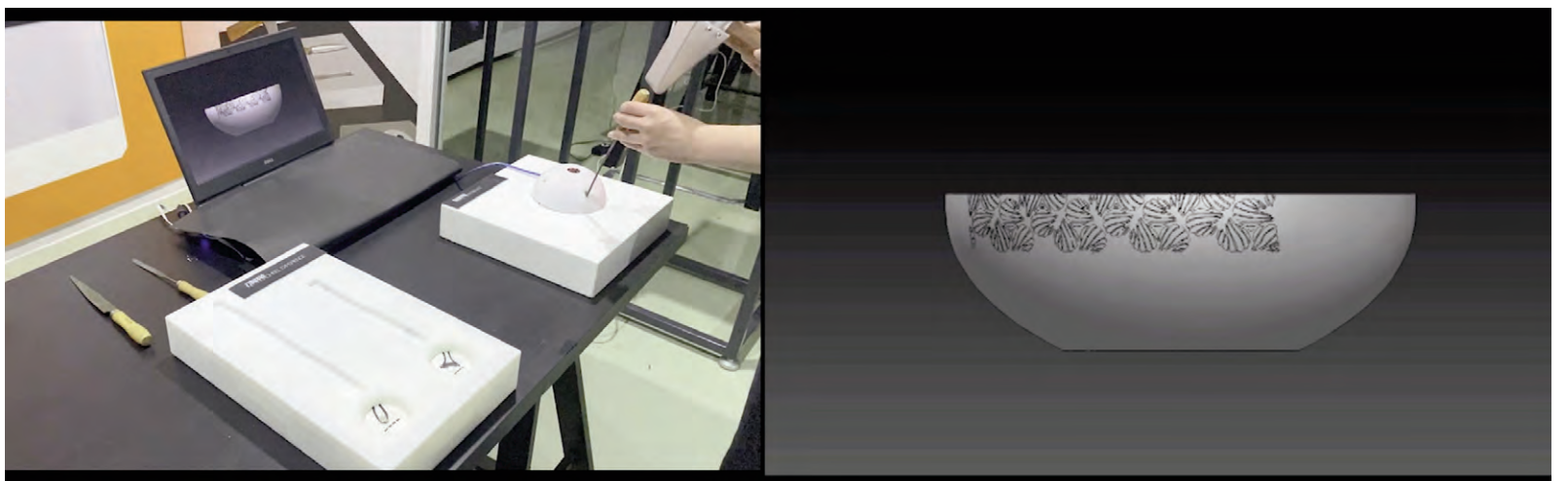


Fig. 7 | Interaction between the offline workstation and digital archive (credit: Jiangnan University, 2021).



Fig. 8 | Example of scanning a complex craft object (credit: University of Florence, 2022).

cation of digital technologies in the silverware sector; to promote the internationalisation of silver craftsmanship; and to realise pilot cases in the digitisation of silverware, through the acquisition and creation of digital models of craft artefacts.

In the first phase, the research took place in the field, in Kongbai Village, Guizhou Province, the heart of the Miao silversmithing tradition district (Fig. 4). Interviews and questionnaires were used to obtain information on craft processes, which were then sorted and summarised, taking into consideration the activities and 'rituality' of the craftsman, the human values of know-how, the social context, the modes of interaction between craftsmen and users and the components and elements of product assembly. Parallel to the survey on the Guizhou territory, the research group developed a market study on the emerging segments of Chinese history lovers and 'craft trends', which includes young people interested in exploring the emotional content of traditional crafts through the web and social platforms (Goretti, 2022). The research team then developed user personas to satisfactorily define possible points of interest of the users in their approach to emotional information and craft techniques.

In the second phase, the research followed two directions: theoretical background research on the history of the development of Miao know-how and the values of silver work and the development of a taxonomy of 'matrix' forms of objects produced in the Guizhou district. The taxonomy of 'matrix' forms aimed to create a classification of decorations, by addition and subtraction, that characterise the primary aesthetic references of the Miao tradition. This organisation of forms aimed to create digital components and objects through the use of free-form 3D modelling software that would include both the primary forms of the product (e.g. the main shape of the reference cup or vase) and the decorations that, by addition or subtraction characterise the artefact. This procedure followed the operational process of creating digital objects developed by Wu Qian⁵ in 2016 and Liu Ling⁶ in 2017.

Of particular interest for the research was the theme of interaction between the user and the digital archive (Fig. 5), developing an inclusive system of user participation and involvement that could best disseminate the values and fascination of the workings. The project chose not to follow

previous examples of applying new immersive digital technologies to the theme of craftsmanship (Lei et alii, 2017) but to define a type of 'dual' approach that, on the one hand, illustrates the digital forms and assemblages of Miao working cups and vases through the creation of a digital platform, and on the other hand develops an interactive installation based on microcontrollers applied to symbolic workstations and the tools proper to the craft tradition (Fig. 6).

Gestures made by the user in the offline location correspond to decorative shapes and information in the online object visualisation. The result is a combination of simulation of manual doing and digital visualisations guided by the digital archive previously set up by the research team. In this way, a playful experience takes shape, which at the same time enables processes of approach and a solid understanding of craftsmanship (Fig. 7). The platform also acts as a co-creation experience between user and craftsman, opening the way to new market opportunities guided by customisation processes and experiential values.

Discussion and conclusions | The digital transformation has far-reaching implications for archives, whose importance has grown in the research paths of numerous fields, becoming 'places' for the preservation of a specific type of organised memory, favouring its diffusion in different disciplinary, professional and technological spaces (Gilliland, Lau and McKemish, 2021). The analysis highlights familiar territories of experimentation in the role of the digital archive as a trigger for the introduction of other tools characterising the digital transition relating to everyday production and communication technologies (Giannachi, 2016). Moreover, this tool becomes a source of inspiration for design, which draws references from it for design choices in line with the specific techniques used in its execution, enabling SMEs to develop advanced craftsmanship paths (Fry et alii, 2017; Goretti, 2017) by developing new production processes and design-driven innovation.

From the analysis of the two case studies, it is evident how memory and acquired knowledge, if interfaced with a digital archive, could be transmissible and have value outside the specific context that generated them, favouring the preservation and transmission of tangible and intangible values of know-how. On the one hand, there is a common intent of documentation and protection provided by the digital archive, on the other hand, it is possible to identify profound differences in approach and objectives between the two digitisation paths and the related services.

In the Italian case study, the development and deployment of the digital archive are essentially about improving manufacturing time-to-market and quality certification and safeguarding know-how. By developing inclusive visualisation and user-experience systems through virtual and augmented reality, The Savio Firmino case takes a significant step towards communicating product values through new technologies. Although this approach has been positively experimented with at relevant trade fairs since 2019, the development of user experiences based on digital archive systems is still sporadic in the Italian framework and with objectives that are not well defined (Fig. 8). On the one hand, the Chinese case study places the

development of meaningful and inclusive user experiences as the primary objective of digitisation. In order to fully understand this strategic choice, it is necessary to dwell on some salient features of the context, such as the significant difference between Chinese artisan workshops and Italian small and medium-sized artisan enterprises. Although small, the latter have developed an industrial structure and a strong aptitude for innovation. In Chinese craft districts, on the other hand, the start-up of innovation is often managed 'from above' under the supervision of local authorities and trade associations, aiming to create synergic and collaborative networks of artisans.

Furthermore, the Chinese social context offers peculiarities not found in the European landscape. First and foremost, the market value of the new class of young consumers and the emerging enthusiasm for new technologies (Goretti, 2022) encourages the development of user-centred experiences and services that can disseminate the evocative power of China's thousand-year-old craft tradition. This phenomenon of the 'spirit of craftsmanship' concept thus drives China's growing focus on 'reuniting' craft practices with industrial and technological development.

While it is easy to see great potential for design-driven development through digitisation processes, it should be noted that the system of 'traditional' craftsmanship operators is still reluctant and suspicious of the introduction of digital technologies. In the Italian case, within the framework of joint laboratories, the academic research team undertook to develop communication and research-sharing tools that are useful to allow the craftsman's acceptance of a new graphic and technical-descriptive language of the product: an example of this is product visualisations from the digital archive that would maintain an artistic and not excessively engineering character. The set-up of SMEs (as in the case of Savio Firmino) deeply devoted to innovation and facing new market challenges has effectively facilitated and sped up this integration process between innovation and traditional practices.

In the Chinese case, this collaboration presents more difficulties and barriers. Firstly, the Chinese high-end handicraft system is profoundly linked to the micro-enterprise model, which is set up more as an art atelier than an SME. Secondly, the relationship between craft production and design-driven innovation is currently in an incipient state, even if strongly supported by government policies. We, therefore, believe that appropriate models of integration between research, training and enterprise could represent an essential field of experimentation and advancement for such integration processes.

Acknowledgements

This contribution is the result of a joint reflection of the authors. Nevertheless, the introductory paragraph and ‘Discussion and conclusions’ have to be attributed to G. Goretti and M. Tufarelli, ‘Italy: digital archive for memory and competitiveness in the markets’ to M. Tufarelli, and ‘China: digital archive for user-experience and reinsertion in the context of contemporary design’ to G. Goretti and Q. Xiaobo. We thank L. Gao for his collaboration.

Notes

1) For more details see: ec.europa.eu/info/strategy/recovery-plan-europe_en#nextgenerationeu [Accessed 08 October 2022].

2) Classical or canonical Chinese texts are texts written before the imperial unification by the Qin dynasty in 221 BC, known as the ‘Thirteen Classics’. These texts may include information on ‘shi’ (historical works), ‘zi’ (philosophical works, works on agriculture, medicine, mathematics, astronomy, divination, art criticism) and ‘ji’ (literary works) and ‘jing’ (Chinese medicine). More information at: booyee.com.cn/user-bid.jsp?id=152607 [Accessed 08 October 2022].

3) The text of the Made in China 2025 Programme issued by the Chinese State Council on 7 July 2015 can be found at: cittadellascienza.it/cina/wp-content/uploads/2017/02/IoT-ONE-Made-in-China-2025.pdf [Accessed 08 October 2022].

4) Promoting the spirit of craftsmanship is a strategic guideline of Chinese government policies. The Report on the Work of the Chinese Government 2022 aims to encourage enterprises to realise new product ideas, promote manufacturing excellence by improving quality, increase production varieties and create new brands. More information at: china.org.cn/chinese/2022-03/14/content_78106770.htm; xinhuanet.com/politics/2016-08/15/c_129230318.htm [Accessed 08 October 2022].

5) In 2016, Qian addressed the issue of the relationship between economic development and traditional craftsmanship, identifying guidelines for the integration of innovation and artistic heritage and emerging market trends regarding the contemporary buyer’s appreciation of traditional craft themes. More information at: wenku.baidu.com/view/e7aa2396ad1ffc4ffe4733687e21af45b207fede.html [Accessed 08 October 2022].

6) In 2017, Ling illustrates processes and methods of digitising iconic objects of Miao silverware production, reporting on operational examples in the restitution of shapes and details of objects resulting from superior craftsmanship; through digitisation, the aim was to preserve tradition, develop new design strategies and promote the intangible values of Miao craft culture. More information at: cnki.com.cn/Article/CJFDTotal-YJSYJ2017Z6127.htm [Accessed 08 October 2022].

References

Becattini, G. (2004), *Industrial districts – A new approach to industrial change*, Edward Elgar Publishing, Cheltenham (UK).

Blumenfeld, T. and Silverman, H. (eds) (2013), *Cultural Heritage Politics in China*, Springer, New York. [Online] Available at: doi.org/10.4000/chinaperspectives.6546 [Accessed 08 October 2022].

Brozzi, R., D’Amico, R. D., Pasetti Monizza, G., Marcher, C., Riedl, M. and Matt, D. (2018), “Design of Self-assessment Tools to measure industry 4.0 readiness – A methodological approach for craftsmanship SMEs”, in Chiabert, P., Bouras, A., Noël, F. and Rios, J. (eds), *Product Lifecycle Management to Support Industry 4.0*, PLM 2018 IFIP Advances in Information and Communication Technology, Springer, Cham, pp. 566-578. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-030-01614-2_52 [Accessed 08 October 2022].

Celaschi, F. (2017), “Advanced design-driven approach-

es for an Industry 4.0 framework – The human-centred dimension of the digital industrial revolution”, in *Strategic Design Research Journal*, vol. 10, issue 2, pp. 97-104. [Online] Available at: revistas.unisinos.br/index.php/sdrj/article/view/sdrj.2017.102.02 [Accessed 08 October 2022].

Chaochan, C. (2018), “Research on the Status Quo and Inheritance of Gold and Silver Fine Work”, in *Grand View of Fine Arts*, vol. 9, pp. 72-73. [Online] Available at: zhangqiaokeyan.com/academic-journal-cn_art-panorama_thesis/0201245768699.html [Accessed 08 October 2022].

Epifani, S. (2020) *Sostenibilità digitale – Perché la sostenibilità non può fare a meno della trasformazione digitale*, Digital Transformation Institute.

European Commission (2021a), *Creative Europe 2021-2027 – The EU Programme supporting the cultural and creative sectors*, Publications Office. [Online] Available at: data.europa.eu/doi/10.2766/6289 [Accessed 10 October 2022].

European Commission (2021b), *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 New European Bauhaus – Beautiful, Sustainable, Together*, document 52021DC0573, 573 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2021%3A573%3AFIN [Accessed 10 October 2022].

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 New European Agenda for Culture*, document 52018DC0267, 267 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM:2018:267:FIN [Accessed 10 October 2022].

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/?qid=1576150542719&uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN [Accessed 10 October 2022].

Floridi, L. (2020), *Pensare l’Infosfera – La filosofia come design concettuale*, Raffaello Cortina Editore, Milano.

Fondazione Symbola (2021), *Io sono Cultura 2021 – L’Italia della qualità e della bellezza sfida la crisi*. [Online] Available at: symbola.net/ricerca/io-sono-cultura-2021/ [Accessed 08 October 2022].

Fry, A., Goretti, G., Ladhil, S., Cianfanelli, E. and Overby, C. (2017), “Advanced Craft, integrated with the Saper Fare – The role of Intangible value, and the centrality of the artisan in high-quality 21st century artisanship”, in *Cuadernos del Centro de Estudios en Diseño y Comunicación*, vol. 18, issue 64, pp. 255-276. [Online] Available at: dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7325457 [Accessed 08 October 2022].

Giannachi, G. (2016), *Archive everything – Mapping the everyday*, MIT Press, Cambridge (MA).

Gilliland, A. J., Lau, A. J. and McKemmish, S. (2021), “Pluralizing the archive”, in Fujiyoshi, K. (ed.), *Archives for Maintaining Community and Society in the Digital Age*, Springer, Singapore, pp. 61-70. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-981-15-8514-2_7 [Accessed 08 October 2022].

Goretti, G. (2022), “Mediatization in Fashion – A Focus on the Rise of Reflective Emotions within China’s Fashion Ecosystem”, in Chrétien-Ichikawa, S. and Pawlik, K. (eds), *Creative Industries and Digital Transformation in China*, Palgrave Macmillan, London, pp. 83-185. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-981-19-3049-2_5 [Accessed 08 October 2022].

Goretti, G. (2017), *Advanced craftsmanship – Maestria avanzata – Percorsi di progetto tra innovazione e tradizione artigianale nei sistemi manifatturieri toscani*, Aracne, Roma.

Harrison, R., DeSilvey, C., Holtorf, C., Macdonald, S., Bartolini, N., Breithoff, E., Fredheim, H., Lyons, A., May, S., Morgan, J. and Penrose, S. (2020), *Heritage futures – Comparative approaches to natural and cultural heritage*

practices, UCL Press, London. [Online] Available at: library.oapen.org/handle/20.500.12657/51792 [Accessed 08 October 2022].

Lei, S., Li, L., Longhua, Y. and Hualiang, X. (2017), “Application Research of AR Technology in Digital Protection of Traditional Miao Silver Jewelry”, in *Shandong Industrial Technology*, issue 17, pp. 254-255. [Online] Available at: caod.oriprobe.com/articles/52691662/ar_ji_shu_zai_chuan_tong_miao_zu_yin_shi_shu_zi_hu.htm [Accessed 08 October 2022].

Lupo, E. (2019), “Design e Cultural driven innovation”, in *i+ Diseño | Revista científico-académica internacional de innovación, investigación y desarrollo en Diseño*, vol. 14, pp. 120-132. [Online] Available at: doi.org/10.24310/Idiseno.2019.v14i0.7085 [Accessed 08 October 2022].

Matarazzo, M., Penco, L., Profumo, G. and Quaglia, R. (2021), “Digital transformation and customer value creation in Made in Italy SMEs – A dynamic capabilities perspective”, in *Journal of Business Research*, vol. 123, pp. 642-656. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.10.033 [Accessed 08 October 2022].

Mazur-Włodarczyk, K. (2021), “The social aspect of Chinese crafts”, in Vaňková, I. (ed.), *Proceedings of the 14th International Scientific Conference Public Economics and Administration 2021*, Technical University of Ostrava, VSB, Ostrava, pp. 293-303. [Online] Available at: researchgate.net/publication/356694099_The_social_aspect_of_Chinese_crafts [Accessed 08 October 2022].

Morace, F. and Lanzone, G. (2010), *Verità e bellezza – Una scommessa per il futuro dell’Italia*, Nomos Edizioni, Busto Arsizio (VA).

Mosca, F. (2017), *Heritage di prodotto e di marca – Modelli teorici e strumenti operative di marketing per le imprese nei mercati globali del lusso*, FrancoAngeli, Milano.

Nambisan, S., Lyytinen, K., Majchrzak, A. and Song, M. (2017), “Digital Innovation Management – Reinventing innovation management research in a digital world”, in *MIS quarterly*, vol. 41, issue 1, pp. 223-238. [Online] Available at: asset-pdfs.sciencese.io/prod/2610102381/2610102381.pdf [Accessed 08 October 2022].

Rullani, E. (2014), “Manifattura in transizione | Manufacture in transition”, in *Sinergie Italian Journal of Management*, vol. 32, pp. 141-152. [Online] Available at: doi.org/10.7433/s93.2014.09 [Accessed 08 October 2022].

Sachs, J., Kroll, C., Lafortune, G., Fuller, G. and Woelm, F. (2022), *Sustainable Development Report 2022*, Cambridge University Press. [Online] Available at: cambridge.org/it/academic/subjects/economics/economic-development-and-growth/sustainable-development-report-2022?format=HB&isbn=9781009210089 [Accessed 08 October 2022].

Schwab, K. (2017), *The fourth industrial revolution*, Portfolio Penguin.

UNESCO (2003), *International Convention for the Safeguarding of the Intangible Cultural Heritage*. [Online] Available at: ich.unesco.org/doc/src/15164-EN.pdf [Accessed 08 October 2022].

Wu, C. and Wu, X. (2021), “The Art-Craft Boundary in Contemporary Central China – The Case of Root Carving”, in *The Journal of Modern Craft*, vol. 14, issue 2, pp. 141-154. [Online] Available at: doi.org/10.1080/17496772.2021.1961373 [Accessed 08 October 2022].

Zabulis, X., Meghini, C., Partarakis, N., Kaplanidi, D., Doulgeraki, P., Karuzaki, E., Stefanidi, E., Evdemon, T., Metilli, D., Bartalesi, V., Fasoula, M., Tasiopoulou, E. and Beisswenger, C. (2019), “What is needed to digitise knowledge on Heritage Crafts”, in *MEMORIAMEDIA Review*, n. 4, pp. 1-25. [Online] Available at: review.memoriamedia.net/index.php/digitise-knowledge-on-heritage-crafts [Accessed 08 October 2022].

APPRENDIMENTO TRAMITE SIMULAZIONE E TOOL DIGITALI

Una sperimentazione per la Farmacia dei Servizi

SIMULATION-BASED LEARNING AND DIGITAL TOOLS

A trial for Pharmacy Services

Fabrizio Bracco, Maria Carola Morozzo della Rocca,
Federica Delprino, Silvia Pregaglia

ABSTRACT

Il contributo indaga, tra un desiderio collettivo di riappropriazione della socialità e l'attenzione all'utilizzo di pratiche digital e phygital per promuovere l'inclusione e diminuire l'impatto umano sul pianeta, sulla scelta delle modalità di interazione ibride, fisiche o virtuali in funzione di esigenze puntuali piuttosto che generalizzate per favorire una transizione digitale consapevole e duratura nella formazione universitaria. Il saggio affronta il metodo della simulazione come strumento consolidato nell'apprendimento delle discipline mediche, declinandolo a uno scenario inedito come l'ambito farmaceutico e sperimentandone un percorso di digitalizzazione. Nell'ottica dello sviluppo di una didattica integrata fra analogico e digitale il caso studio Farmacia dei Servizi costituisce la base per una riflessione allargata sulle potenzialità future della formazione universitaria.

The paper focuses, amidst a collective desire to re-appropriate sociality and a focus on the use of digital and 'phygital' practices to promote inclusion and diminish the human impact on the planet, on the choice of hybrid, physical or virtual modes of interaction as a function of punctual rather than generalised needs to foster a conscious and sustained digital transition in university education. The essay deals with the simulation method as an established tool in learning medical disciplines, declining it in an unprecedented scenario such as pharmaceuticals and experimenting with its digitisation. With a view to the development of integrated didactics between analogue and digital, the case study Pharmacy of Services provides the basis for an extended reflection on the future potential of university education.

KEYWORDS

ergonomia cognitiva, interaction design, phygital, simulazione, farmacia dei servizi

cognitive ergonomics, interaction design, phygital, simulation, pharmacy services

Fabrizio Bracco, PhD, is an Associate Professor at the Department of Education Sciences, University of Genova (Italy). He carries out research activities on work psychology and ergonomics. He is a member of the Scientific Committee of the University Centre for Advanced Simulation. E-mail: fabrizio.bracco@unige.it

Maria Carola Morozzo della Rocca, Architect and PhD, is an Associate Professor at the Architecture and Design Department, University of Genova (Italy). She carries out research activities in Design from Strategy to Product in multiple contexts. She is part of the Centro del Mare of Ligurian University. E-mail: carola.morozzo@unige.it

Federica Delprino is a PhD Candidate in Design at the University of Genova (Italy). Her research focuses on inclusive design tools from multimodal and multisensory interaction modes. She is a Multidisciplinary Designer and Content Creator. E-mail: federica.delprino@edu.unige.it

Silvia Pregaglia, graduated with a Bachelor's degree in Communication Sciences from the Alma Mater Studiorum of Bologna (Italy) and a Master's degree in Digital Humanities, Communication and New Media from the University of Genova (Italy). Her research areas include Cognitive Ergonomics and Interaction Design applied to multiple contexts. E-mail: silvia.pregaglia@hotmail.it



Nel biennio 2020-2021 la pandemia da Covid-19 ha costretto la maggior parte degli ambienti lavorativi a modificare il proprio flusso di lavoro, sostituendo la tradizionale modalità in presenza con sperimentazioni di lavoro a distanza. I luoghi della formazione di ogni ordine e grado hanno vissuto la medesima esperienza con l'aggravante di rivolgersi a giovani nel pieno della propria crescita culturale e non a persone già formate, mature e potenzialmente molto più autonome. Oggi, in uno scenario post pandemico, la sfida sta nel non abbandonare quanto sperimentato e imparato, ma di metterlo a frutto con un approccio 'phygital' capace di interpretare al meglio il contesto in cui si opera innescando modalità di interazione ibride, fisiche o virtuali in funzione di esigenze puntuali piuttosto che generalizzate per continuare a favorire una transizione digitale consapevole e duratura. Focalizzando l'attenzione sulla formazione accademica, il saggio intende delineare – all'interno dell'approccio generale adottato dall'Ateneo genovese¹ (Fig. 1) – il progetto di ricerca sulla Farmacia dei Servizi avviato nell'ambito del Corso di Laurea in Farmacia da un team interdisciplinare di docenti con l'obiettivo di valutare l'opportunità di una digitalizzazione stabile per alcuni aspetti della formazione universitaria.²

Nell'ottica dello sviluppo di una didattica integrata che porti lo studente e il docente a usufruire delle risorse di Ateneo senza dover ricorrere a strumenti esterni, un caso particolarmente interessante di sperimentazione legato alla transizione digitale e al suo sviluppo nel futuro è il progetto 'Farmacia Virtuale, Competenze Reali', avviato dagli autori come attività di ricerca e sperimentazione interdisciplinare negli anni 2021 e 2022. Il lavoro, sviluppato secondo i principi dell'Ergonomia Cognitiva e dell'Interaction Design, rilegge e aggiorna il metodo della simulazione come strumento di apprendimento contestualizzandolo nell'ambito della Farmacia dei Servizi. Esso parte dall'analisi e dalla definizione delle fasi del metodo della simulazione tradizionalmente impiegate in ambiente medico e in presenza per poi adattarle e ripensarle attraverso il software H5P rendendo l'esperienza completamente digitale, accessibile, interattiva e ramificabile. Il progetto ha consentito di ideare, sviluppare e testare su campioni diversificati un percorso di simulazione in presenza e online, entrambi con obiettivi formativi analoghi. L'efficacia e l'interscambiabilità delle due modalità sono state poi verificate tramite la somministrazione di un questionario agli studenti coinvolti nella sperimentazione.

Il saggio si pone quindi l'obiettivo di illustrare e analizzare criticamente le attività sperimentali condotte nel progetto ed è strutturato in modo tale da contestualizzare il metodo della simulazione nel campo delle professioni sanitarie; definire la Farmacia dei Servizi, contestualizzare il progetto di ricerca 'Farmacia Virtuale, Competenze Reali' e gli strumenti analogici o digitali coinvolti nel processo di simulazione; illustrare i casi studio sperimentali, la metodologia adottata e le modalità con cui è stata riprogettata l'esperienza di apprendimento migrandola da analogica a digitale tramite il software H5P; analizzare i risultati ottenuti e concludere con una riflessione critica anche in relazione al dibattito attualmente in essere nella Comunità Scientifica.

La simulazione in ambito medico | Le competenze comunicative da parte del personale sanitario sono conquista relativamente recente. Da pochi decenni la comunicazione sanitaria smette quindi di essere ritenuta 'unnecessary bedside manners' (Jackson and Duffy, 1998), ovvero 'inutili moine da fare al capezzale', per trasformarsi progressivamente in un potente strumento nell'erogazione dell'assistenza sanitaria e nella promozione della stessa. Nel corso degli anni '90, il mondo accademico della Farmacia a livello internazionale ha iniziato a rispondere all'esigenza di migliori capacità comunicative anche da parte dei professionisti nel campo farmaceutico. Ad esempio, nel 1997 sia l'Organizzazione Mondiale della Sanità sia la Federazione Farmaceutica Internazionale hanno pubblicato rapporti che delineano le abilità comunicative come essenziali per la pratica della Farmacia (Wallman, Vaudan and Sporrang, 2013). La risposta della maggior parte delle Scuole di Farmacia americane è stata quella di creare un corso di comunicazione di base, con una particolare attenzione alla comunicazione individuale e, solo nell'ultimo decennio, sono stati introdotti giochi di ruolo e simulazioni, per rendere più efficace l'apprendimento delle competenze relazionali (Adrian, Zeszotarski and Ma, 2015).

Gran parte della ricerca sull'insegnamento agli adulti indica che la partecipazione attiva dei discenti al processo di apprendimento è un fattore importante per aumentarne l'efficacia. Essi, infatti, tendono a imparare meglio quando partecipano non solo interpretando un ruolo pratico, ma anche attraverso il coinvolgimento emotivo, che permette la contestualizzazione degli eventi all'interno del loro mondo. Questo metodo prende il nome di Apprendimento Esperienziale e la manualistica suggerisce come l'esperienza concreta, l'osservazione riflessiva e la partecipazione attiva siano essenziali per lo studente affinché assimili conoscenze e competenze, per poter poi agire con appropriatezza e sicurezza nelle situazioni cliniche reali (Zannini, 2005). Il vantaggio di realizzare simulazioni in ambienti controllati permette, infatti, agli studenti di commettere errori senza che comportino conseguenze (Sponton and Iadaluca, 2014).

Le simulazioni, che sono strutturate tenendo conto di obiettivi di apprendimento specifici, offrono quindi l'opportunità di attraversare le fasi del ciclo esperienziale (pianificazione dell'azione, realizzazione dell'azione, riflessione sull'azione e collegamento di ciò che accade alla teoria; Gibbs, 1998) combinando la componente attiva con la successiva analisi e riflessione sull'esperienza e ottenendo come risultato la facilitazione dello studio attraverso la pratica. L'Apprendimento Esperienziale è quindi particolarmente adatto nell'orientamento alla pratica professionale, nella quale l'integrazione tra teoria e applicazione è pertinente e continua (Schunk and Zimmerman, 1998).

La Farmacia dei Servizi | L'applicazione della simulazione nel contesto della Farmacia nasce dalla constatazione che questa non è più solo un luogo che si occupa della distribuzione dei medicinali, bensì un punto di riferimento fondamentale per il benessere del cittadino, attraverso l'offerta di servizi, consigli, informazioni e prestazioni diagnostiche che trasformano la Farmacia stessa in un centro capace di dispensare 'salute' nel senso

più ampio del termine (Puglisi, 2016). Concetto che interpreta appieno sia le propensioni del Sistema Sanitario Nazionale verso una deospedalizzazione e una domiciliarizzazione delle principali cronicità sanitarie sia la nuova istituzione della Farmacia dei Servizi³. Quest'ultima nella visione del Ministero della Salute vuole essere per il cittadino una più che valida alternativa quando ha bisogno di chiedere informazioni o di prenotare prestazioni sociosanitarie, il tutto senza doversi recare presso i presidi ospedalieri.

Con la nascita della Farmacia dei Servizi sono state avviate una serie di iniziative volte a una sempre maggiore interazione tra farmacista e cittadino, quest'ultimo inteso come utente o paziente; azioni e relazioni che comportano un'evoluzione delle mansioni che fanno parte del compito del farmacista arrivando in alcuni casi a un vero e proprio pharmaceutical care, ovvero presa in carico del paziente. Ne consegue che lo studente di Farmacia, nel suo percorso accademico, dovrà sempre più maturare abilità relazionali un tempo non necessarie. Capacità che possono essere ragionevolmente acquisite tramite il metodo della simulazione. La simulazione, infatti, interpretando Stefanie Di Russo (2016), può dare una visione d'insieme e allenare l'empatia del discente con un approccio che parte dal vision framing – maggiormente incentrato sul raggiungimento di un'esperienza piuttosto che su di un risultato tangibile – con l'intento di creare una sperimentazione ideale capace di favorire e veicolare lo sviluppo di competenze specifiche.

Di fronte a un siffatto scenario e sotto la spinta di un'innovazione didattica attenta alle opportunità offerte dal digitale nasce il progetto 'Farmacia Virtuale, Competenze Reali' con l'obiettivo di integrare il metodo della simulazione nella formazione universitaria in Farmacia rendendolo sostenibile in un'ottica digitale integrata nella didattica istituzionale.

H5P e la simulazione come metodo formativo

| H5P è un framework di supporto allo sviluppo di contenuti interattivi in HTML5 che trovano facile applicazione in ambito educativo e didattico; è gratuito e libero (Licenza MIT); è una comunità che si propone di rendere semplice la creazione, la condivisione e il riutilizzo dei contenuti sviluppati in HTML5. Un importante aspetto a favore dell'utilizzo di H5P è che risponde alle esigenze dell'Universal Design for Learning (UDL) poiché consente di combinare molteplici mezzi di rappresentazione e di lavorare su motivazione, abilità metacognitive e feedback. H5P non richiede specifiche competenze di programmazione ma bisogna possedere creatività e abilità di progettazione didattica. Ciò determina un facile accesso da parte dei formatori, sia in termini di capacità personali che di risorse informatiche, se messo a confronto con strumenti più complessi di interazione come la realtà virtuale o aumentata.

La creazione dei contenuti avviene all'interno di un visual editor, quasi sempre secondo la logica del WYSIWYG (What You See Is What You Get), ovvero 'quello che vedi è quello che è'. All'autore è richiesto di compilare dei campi, caricare delle immagini, scegliere o meno specifiche impostazioni. Inoltre il software offre lo sviluppo di numerosi contenuti digitali quali video interattivi, presentazioni di corsi, giochi, registrazioni di audio

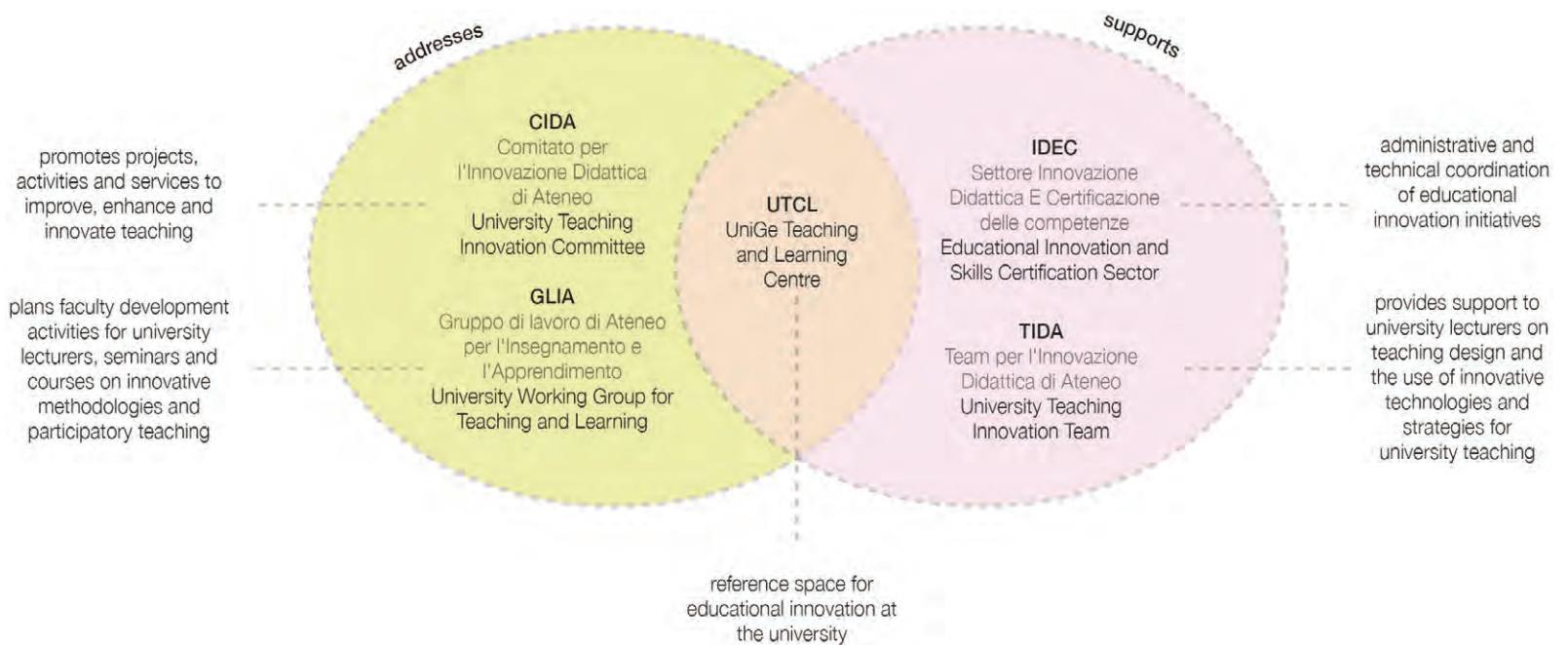


Fig. 1 | UniGe Teaching and Learning Centre (credit: F. Delprino).

e molto altro. Facendo riferimento al caso studio sperimentale, lo strumento H5P ha svolto un ruolo fondamentale per la realizzazione e la riuscita della simulazione digitale.

Nello specifico, in questo caso, è stato usato il tool del Branching Scenario che consente di creare percorsi adattivi strutturati ad albero e un relativo sistema di punteggi (per elemento e/o globale). In seguito alla costruzione di un copione di interazione attorno al quale svolgere l'intera simulazione è stata sviluppata l'interfaccia digitale utilizzando i diversi modelli offerti dallo strumento scelto: per l'introduzione, le istruzioni, i dialoghi e la conclusione è stato utilizzato il modello del Course Presentation che permette di creare slide contenenti immagini e testo; per i quesiti e le risposte è stato utilizzato quello del Branching Question, modello che permette di creare dei pop-up che compaiono sul dialogo precedente ponendo la domanda allo studente e, in seguito alla risposta, fornire un feedback all'utente con indicazioni sulla correttezza o meno della sua risposta.

I casi studio: virtuale e reale a confronto | La presente ricerca coniuga l'aspetto dell'apprendimento esperienziale con l'utilizzo dello strumento digitale di H5P contestualizzato alle esigenze nate con la Farmacia dei Servizi e testato attraverso due casi studio pilota che hanno coinvolto gli studenti del quarto e del quinto anno del Corso di Laurea in Farmacia dell'Ateneo ligure. L'obiettivo principale della ricerca è stato quello di verificare l'efficacia del sistema simulato in modalità asincrona e virtuale, comparato con l'equivalente simulazione dal vivo. Gli obiettivi di apprendimento di entrambe le versioni sono stati sia l'accrescimento di competenze teoriche, per quanto riguardava gli obblighi e i doveri del farmacista, sia il miglioramento delle capacità relazionali e di problem solving di fronte a situazioni complesse. In entrambi i casi l'attività da svolgere si riferiva a un servizio di misurazione della pressione di un paziente iperteso. Per valutare l'efficacia formativa del metodo e la User Experience, nelle due con-

dizioni sono state somministrate domande tratte dal questionario Student Satisfaction and Self-Confidence in Learning (Pence, 2022), utilizzando la versione originale a 13 item per valutare la formazione in presenza e la versione a 16 item con 3 domande aggiuntive sulla valutazione dell'esperienza online. In entrambi i casi le domande sono state somministrate immediatamente dopo la simulazione mediante piattaforma online. Lo scenario di simulazione dal vivo ha previsto l'allestimento di una finta farmacia all'interno di un'aula universitaria, l'impiego di un attore e risorse in loco per ricreare l'ambiente lavorativo in cui lo studente si troverà a operare dopo la laurea, mentre la simulazione digitale è stata realizzata tramite la progettazione di un Branching Scenario con il software H5P.

L'intero progetto applicato è stato impostato e sviluppato seguendo le 5 fasi (Empathize, Define, Ideate, Prototype, Test) del Design Thinking con un percorso iterativo e non lineare che dall'empatizzazione iniziale con il contesto ha condotto fino all'ideazione e alla prototipazione dei percorsi di simulazione nonché alla loro verifica tramite test agli utenti; questi ultimi (come descritto nelle righe precedenti) sotto forma di questionari finalizzati a ottenere i feedback necessari a valutare la bontà del metodo e a favorire l'ottimizzazione futura. Al Design Thinking come processo progettuale sono stati associati Pensiero Creativo, principi di User Experience, Interaction Design ed Ergonomia Cognitiva nella fase di ideazione delle due esperienze pilota. Trattandosi di tipologie di simulazione diverse, una reale e l'altra virtuale, la struttura e la procedura di somministrazione sono state differenti così come il campione di studenti coinvolti al fine di non falsare i risultati di apprendimento (Figg. 2, 3).

La simulazione reale in presenza è stata divisa in tre fasi: il briefing in cui viene spiegato agli studenti come si svolge l'attività e in cui viene presentato loro l'attore con il quale interagiranno; lo scenario simulato e, infine, il debriefing (Alinier, 2011) guidato, per permettere agli studenti di in-

dagare e consolidare le conoscenze, associato all'autovalutazione tramite questionario sulla soddisfazione personale, la fiducia nel proprio apprendimento e l'effettivo apprendimento dei contenuti disciplinari (Figg. 4, 5). La simulazione virtuale è stata, invece, divisa in quattro fasi: accesso degli studenti a un'istanza di Moodle creata appositamente per la simulazione su AulaWeb tramite cui è possibile fruire in sequenza le fasi successive; la compilazione di un breve questionario preliminare per indagare le competenze relazionali e tecnologiche degli utenti coinvolti nel progetto; la simulazione virtuale in ambiente H5P⁴ e, infine, la somministrazione di un questionario uguale a quello della simulazione in presenza con l'aggiunta di 3 domande relative all'esperienza digitale appena fruita, tratte dal System Usability Scale (Lewis, 2018; Figg. 6-8).

A ogni tipologia di simulazione è corrisposto un diverso campione di somministrazione: per quanto riguarda la simulazione in presenza il campione si formava di 19 studenti frequentanti il quarto anno del corso di Farmacia dell'Università di Genova; per la simulazione virtuale, invece, il campione corrispondeva a 11 studenti frequentanti il quinto anno di Farmacia dello stesso Ateneo.

L'obiettivo finale della sperimentazione condotta in ambiente reale e virtuale è stato quello di verificare se i due tipi di esperienza fossero confrontabili dal punto di vista sia dell'utilità didattica sia dell'acquisizione di competenze. In seguito alla raccolta delle risposte fornite dagli studenti è stata svolta un'analisi quantitativa dei punteggi ottenuti nei due test e nelle domande sulla User Experience. I risultati hanno sostanzialmente confermato come la simulazione virtuale permetta di raggiungere gli stessi obiettivi formativi della simulazione in ambiente reale senza compromettere l'efficacia dell'esperienza formativa, non sussistendo differenze significative fra le due condizioni (Figg. 9-12). Inoltre, la valutazione della User Experience ha riportato valori elevati di soddisfazione con un punteggio medio di 4,53 su 5. In particolare, per una futura ottimizzazione del processo, pare op-

portuno sottolineare che gli utenti della simulazione digitale se da un lato hanno segnalato difficoltà occasionali nell'ottenere aiuto dal sistema in caso di concetti o domande poco chiare dall'altro, nonostante il numero ridotto di quesiti sottoposti, hanno ottenuto il 100% di risultati positivi in merito alla verifica dell'effettivo apprendimento.

Riflessioni critiche e dibattito contemporaneo

| Diverse ricerche a livello internazionale si sono interrogate su come mantenere tutti quegli strumenti digitali per l'apprendimento acquisiti nelle varie Università e contesti di formazione professionale durante l'emergenza pandemica, sfruttandone le possibilità; in particolare aumentando le modalità di interazione e di coinvolgimento al fine di sviluppare capacità tecniche, conoscenze specifiche sul settore nonché l'empatia. Trasformare le registrazioni delle lezioni in contenuti didattici online può essere una strategia rapida per creare una solida base per approcci di apprendimento misto, consolidando l'insegnamento attraverso strategie interattive come quelle offerte tra H5P tramite Moodle, che risulta quindi un vantaggio

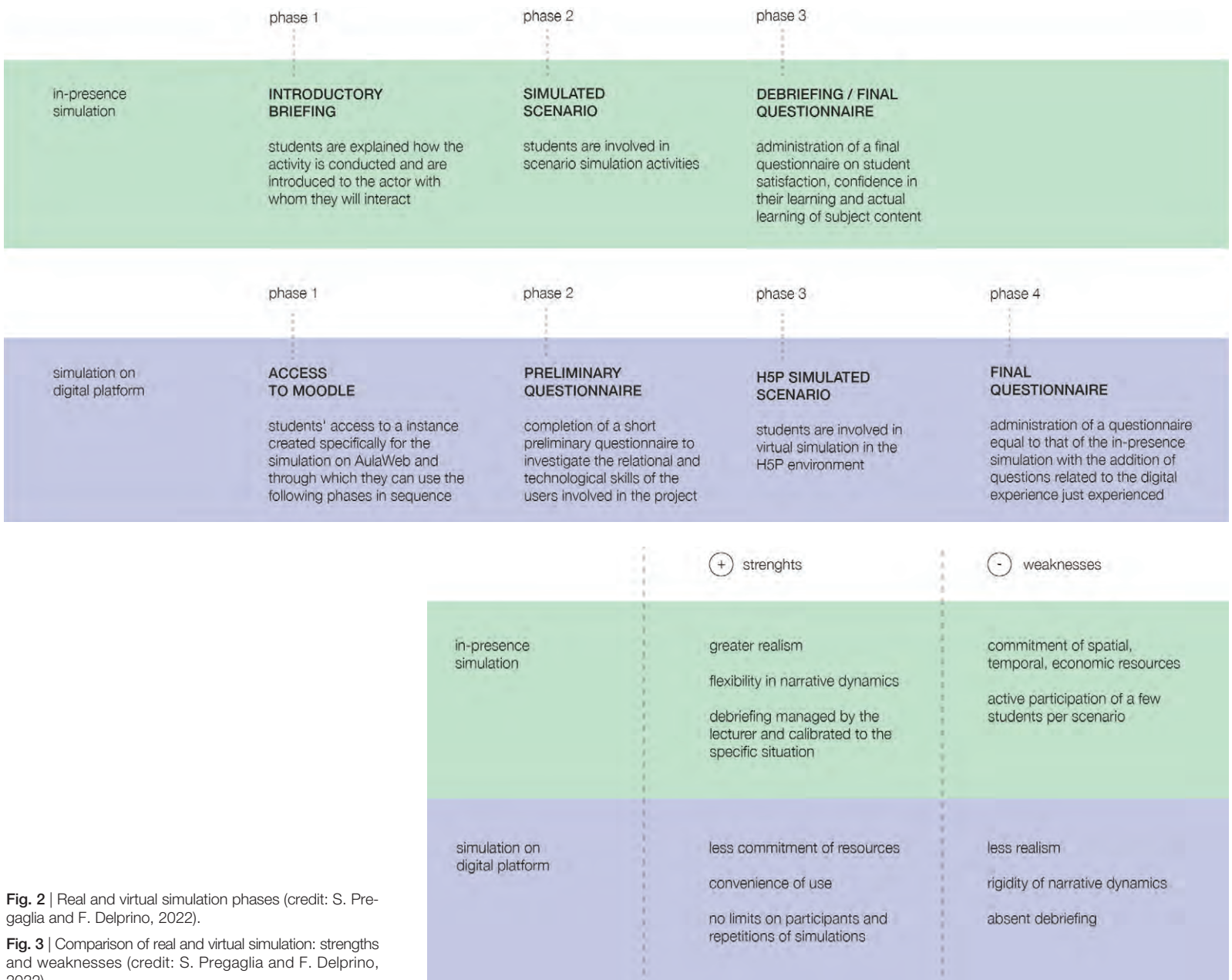
procedurale (Wehling et alii, 2021). Il beneficio a livello di iter didattico sta in primis nella possibilità di personalizzazione dello strumento, che non consiste in una modalità univoca e ripetitiva, ma nella costruzione di un modello ad hoc per la classe e per il contesto specifico, in modo da poterlo adattare a esigenze e contingenze. Inoltre, rispetto a una lezione esclusivamente frontale, dà la possibilità di confrontarsi con scenari possibili anche da un punto di vista visivo e uditivo.

A tale proposito uno studio quantitativo (Mir, Iqbal and Shams, 2022) portato avanti dalla Al-lama Iqbal Open University (AIQU) in Pakistan indaga il livello di soddisfazione degli studenti riguardo ai contenuti video interattivi su Moodle nell'apprendimento online. Le metriche di successo riportate sono state classificate indagando I) Information Quality; II) System Quality; III) Service Quality; IV) Intention to Use; V) User Satisfaction. La ricerca mostra che gli studenti erano parzialmente soddisfatti del sistema di gestione dell'apprendimento, con l'esigenza di avere più strumenti e modalità stimolanti verso materie per cui non si individua un alto grado di interesse; di-

mostra inoltre la facilità d'uso di H5P, che permette di avere contenuti dinamici e interattivi, adatti a creare maggiore engagement, comunque trasferibili come materiale statico e condivisibile su qualsiasi device.

Rachelle Singleton e Amanda Charlton (2019) hanno perseguito un modello di 'apprendimento attivo' utilizzando le attività di H5P per valutare in modo formativo la comprensione da parte degli studenti dei contenuti insegnati nei corsi universitari di anatomia, fisiologia e patologia, assicurando il raggiungimento di specifici risultati di apprendimento ed essendo in grado di fornire un feedback completo e automatico monitorato da docenti e tutor.

Al tool di per sé e alle sue possibilità si aggiunge una riflessione sulla simulazione: lo strumento, per quanto in nuce interattivo e coinvolgente, deve trovare una metodologia chiara da parte del docente e/o del ricercatore. L'utilizzo della simulazione, come approccio formativo che permette allo studente di prefigurare scenari futuri plausibili in cui saper intervenire, si basa su un approccio etico alla progettazione e alla didattica. Le fasi de-



cisionali e progettuali coinvolte sono quindi identificabili in: 1) anticipazione; 2) riflessione; 3) deliberazione; 4) reattività (Culén and Karahasanovic, 2022) per un processo che va dall'anticipazione all'autoconsapevolezza. Adottando questo punto di vista, la simulazione diventa uno strumento elastico ed efficace che, invece di stereotipizzare gli utenti, crea la capacità di adattamento e di previsione di situazioni specifiche affiancando il know-how allo sviluppo di competenze relazionali, fondamentali per il professionista nel campo medico (e non solo).

Conclusioni | Il progetto di ricerca e i casi studio applicati illustrati nel presente saggio, anche in virtù delle riflessioni critiche sintetizzate nel paragrafo precedente, si dimostrano pienamente allineati al dibattito e alle sperimentazioni contemporanee. Il lavoro condotto è stato innovativo in quanto inedito, soprattutto perché ha potuto dimostrare in breve tempo la bontà del metodo della simulazione in un ambito formativo, come il Corso di Laurea in Farmacia, in cui non era di comune utilizzo e allo stesso tempo ha potuto verificare l'opportunità di migrare con successo questa pratica da analogica a digitale.

La condizione in cui la popolazione studentesca ha vissuto a causa della pandemia ha offerto opportunità di riflessione sulla possibilità di impiego di attività didattiche alternative a quelle in presenza. Ciò ha permesso di far emergere come l'introduzione della tecnologia anche in questi ambiti possa essere una risorsa preziosa, in particolare per insegnare agli studenti a empatizzare anche nei casi in cui non sia possibile fare un'esperienza pratica, così come è stato dimostrato dalla ricerca svolta all'interno dell'Ateneo genovese.

H5P si è rivelato essere uno strumento utile allo sviluppo di numerose competenze importanti, nello specifico quelle relative all'apprendimento didattico e alle abilità comportamentali, e di facile impiego da parte dei docenti e dei discenti senza necessità di possedere competenze informatiche di alto profilo o risorse economiche per la gestione di licenze. Il confronto fra i due casi studio di simulazione reale e virtuale inoltre ha evidenziato una serie di punti a favore del secondo metodo tra cui il pieno raggiungimento degli obiettivi didattici prefissati, il gradimento da parte degli utenti e il minor dispendio di risorse economiche. La simulazione reale, infatti, per ogni progetto applicato comporta l'allestimento fisico e una sorta di teatralizzazione dell'ambiente in cui la simulazione

viene eseguita determinando costi scarsamente ammortizzabili e poca elasticità di replicabilità o modifica nel tempo dello scenario di apprendimento creato. La simulazione virtuale invece consente di agire sul software H5P per modificare, ottimizzare e adattare l'esperienza utente in ogni occasione in cui ciò si renda utile o necessario. Inoltre, la simulazione con H5P è fruibile in autonomia da parte degli studenti, senza limiti di tempo e di partecipanti.

I casi studio pilota del 2021 e 2022 evidenziano alcuni limiti che il progetto di ricerca mira a superare con ulteriori sperimentazioni: il numero ridotto di utenti coinvolti a causa dell'evento pandemico in atto e la relativa semplicità dello scenario di simulazione somministrato. Il secondo aspetto, in particolare, è stato pensato volutamente semplice poiché lo scopo iniziale della sperimentazione era quello di valutare la bontà del metodo e degli strumenti adottati piuttosto che la complessità del contesto di apprendimento realizzabile. Ulteriori approfondimenti e sviluppi della ricerca, in parte avviati ma non ancora conclusi, consentiranno di mettere in atto esperienze di simulazione più articolate.

L'approccio multidisciplinare con cui è stato gestito il progetto e il processo, la replicabilità del metodo, la possibilità di inclusione e personalizzazione dell'esperienza, la maggior versatilità di aggiornamento della simulazione digitale a confronto con quella reale fanno ben sperare nell'interesse di una Comunità Scientifica più ampia rispetto a quella attuale. Il desiderio di socialità e di sviluppo di tutti quei 'legami deboli' tipici dei rapporti umani interpersonali potrebbero spingere ad abbandonare, piuttosto che conservare, le buone pratiche digitali avviate durante la pandemia, ma con un coerente 'approccio phygital', capace di mediare le diverse esperienze in base alle esigenze della formazione universitaria, sarà possibile salvaguardare esperienze di ricerca come quella illustrata nel presente saggio e arrivare ad una transizione digitale matura anche in ambito accademico.

aggravating circumstance of addressing young people in their cultural growth and not people already educated, mature and potentially much more autonomous. The challenge in a post-pandemic scenario is not to abandon everything learned and experienced but to capitalise on it with a 'phygital' approach capable of best interpreting the context in which one operates, triggering hybrid modes of interaction, physical or virtual, based on punctual rather than generalised needs, to continue to promote a conscious and lasting digital transition. With a focus on academic training, the essay intends to outline – within the general approach adopted by the University of Genova¹ – the research project on Service Pharmacy initiated within the Pharmacy Degree Course by an interdisciplinary team of professors with the aim of assessing the appropriateness of stable digitisation for certain aspects of university training.²

To develop an integrated didactic approach that enables students and lecturers to make use of the University's resources without having to resort to external tools, an interesting case of experimentation linked to the digital transition and its development in the future is the 'Virtual Pharmacy, Real Skills' project in the context of Service Pharmacy, launched by the authors as an interdisciplinary research and experimentation activity in the years 2021 and 2022. The work, developed according to the principles of Cognitive Ergonomics and Interaction Design, reinterprets and updates the simulation method as a learning tool by contextualising it in the Pharmacy Services field. It starts by analysing and defining the steps of the simulation method traditionally used in the medical field and in the presence, then adapting and rethinking them through the H5P software, making the experience completely digital, accessible, interactive and branching. The project allowed designing, testing and developing different samples of an in-person and an online simulation course with similar training objectives. A questionnaire to the students involved in the experiment tested the effectiveness and substitutability of the two methods.

The essay aims to illustrate and critically analyse the experimental activities conducted as part of the project and structure it in such a way as to contextualise the simulation method in the context of the health professions; define the Service Pharmacy, contextualise the research project 'Virtual Pharmacy, Real Skills' and the analogue and

In the 2020-2021 period, the Covid-19 pandemic forced the majority of workplaces to change their workflow, replacing the traditional in-presence mode with experiments in distance working. Educational establishments of all kinds and degrees have gone through the same experience with the

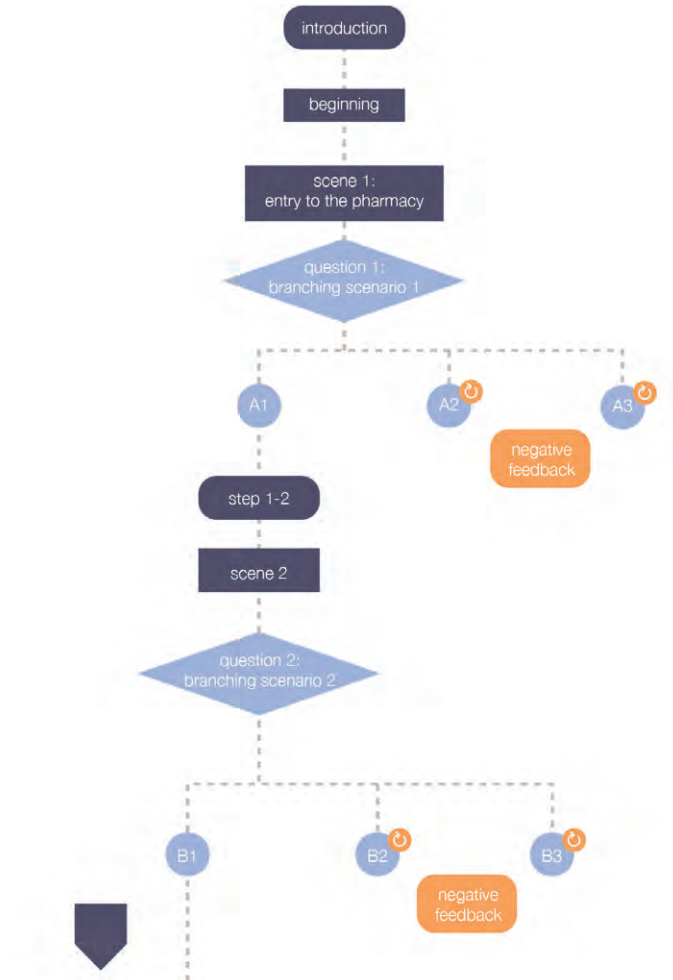


Fig. 4 | Actual simulation set up in the university lecture room of the Department of Pharmacy of the University of Genova. The photograph shows the student volunteer for the simulation exercise and the actor involved in the role of the client (credit: G. Boero, 2022).

Fig. 5 | Image showing fourth-year students of the Pharmacy degree course watching in synchronous mode the live simulation set up and carried out in a different university classroom (credit: G. Boero, 2022).

Fig. 6 | Flowchart: example of structured branching extract in the back-end of H5P for building the Branching Scenario (credit: S. Pregaglia and F. Delprino, 2022).

Fig. 7 | Example of filling in the form necessary for the pop-up containing the question to be asked to the student with the respective positive or negative feedback in relation to the correctness or otherwise of the answer (credit: S. Pregaglia, 2022).



Domanda Scene 1 Remove Done

Domanda *

Cosa risponderesti alla Sig.ra Rossi?

Alternative disponibili *

“Certo, mi segua pure verso la postazione ded...”

Testo *

“Certo, mi segua pure verso la postazione dedicata.”

Advanced branching options

“Sì, mi aspetti qui che porto il macchinario.”

Testo *

“Sì, mi aspetti qui che porto il macchinario.”

Advanced branching options

“Guardi abbia pazienza, ma oggi è una giornat...”

Testo *

“Guardi abbia pazienza, ma oggi è una giornata complicata e ci sono troppi clienti in coda, può

Advanced branching options

Special action if selected

Jump to another branch

Select a branch to jump to *

Passaggio 1-2 (Course Presentation)

Feedback

It is recommended to provide feedback that motivates and also provides guidance. Leave all fields empty if you don't want the user to get feedback after choosing this alternative/viewing this content.

Domanda Scene 1 Remove Done

Special action if selected

Jump to another branch

Select a branch to jump to *

Passaggio 1-2 (Course Presentation)

Feedback

It is recommended to provide feedback that motivates and also provides guidance. Leave all fields empty if you don't want the user to get feedback after choosing this alternative/viewing this content.

Titolo del feedback

RISPOSTA SBAGLIATA

Testo del feedback

È importante effettuare la misurazione quando la cliente lo richiede poiché potrebbe esserci una motivazione clinica alla base della richiesta. Nel caso sia un momento di alta affluenza, è bene farla accomodare nella sala dedicata alle misurazioni e avvisarla che potrebbe dover attendere qualche minuto.

Immagine del feedback

Modifica immagine Modifica copyright

Score for this scenario

The score will be sent to any LMS, LRS or any other connected service that receives scores from H5P for users who reach this scenario

0

AGGIUNGI ALTERNATIVA

Advanced branching options



Fig. 8 | Storyboard: graphic interface and sequence of the major virtual simulation steps built with H5P framework (credit: S. Pregaglia and F. Delprino, 2022).

digital tools involved in the simulation process; illustrate the experimental case studies, the methodology adopted and the way their learning experience was redesigned by migrating it from analogue to digital using the H5P software; analyse the results obtained and conclude with a critical reflection also in relation to the debate currently taking place in the scientific community.

Simulation in the medical field | Communication skills on the part of healthcare personnel is a relatively recent achievement. For the past few decades, healthcare communication has ceased to be regarded as ‘unnecessary bedside manners’ (Jackson and Duffy, 1998), and gradually became a powerful tool for delivering and promoting healthcare. In the 1990s, international pharmacy academia began to respond to the need for better communication skills within the pharmacy profession. For example, in 1997, the World Health Organisation and the International Pharmaceutical Federation published reports outlining communication skills as essential for Pharmacy practice (Wallman, Vaudan and Sporong, 2013). The response of most American pharmacy schools has been to create a core communication course focusing on individual communication, and only in the last decade have role-plays with simulations been introduced to make learning interpersonal skills more effective (Adrian, Zeszotarski and Ma, 2015).

Much of the research on teaching adults indicates that the active participation of learners in the learning process is a significant factor in increasing its effectiveness. They tend to learn best when they participate by playing a hands-on role and through emotional involvement, which enables them to contextualise events within their world. This method is called Experiential Learning textbooks suggest that hands-on experience, reflective observation and active participation are essential for students to assimilate knowledge and skills and then be able to act appropriately and safely in real clinical situations (Zannini, 2005). The benefit of running simulations in controlled environments allows students to make mistakes without consequences (Sponton and Iadaluca, 2014).

Simulations, structured considering specific learning objectives, provide the opportunity to cross the stages of the experiential cycle (planning the action, realising the action, reflecting on the

action and linking what happens to the theory; Gibbs, 1998). It combines the active component with the subsequent analysis and reflection on the experience, thus facilitating study through practice. Experience-based learning is suitable in professional practice orientation, where the integration of theory and application is relevant and continuous (Schunk and Zimmerman, 1998).

Pharmacy Services | Applying simulation in a Pharmacy context comes from the fact that it is not just dealing with drug distribution anymore, it is now an essential point for citizens’ well-being by offering services, advice, information and diagnostic facilities that turn the Pharmacy itself into a centre providing ‘health’ in the broadest possible sense (Puglisi, 2016). A concept that fully interprets both the propensities of the National Health System towards a de-hospitalisation and domicilisation of the principal health chronicities and the new institution of the Service Pharmacy³. According to the Ministry of Health, this last one intends to be a more than valid alternative for citizens when they need to ask for information or to book social and health services, all without having to go to the hospital.

Since the inception of Pharmacy Services, many initiatives have moved to improve the relationship between the pharmacist and the citizen, the latter meant as user or patient; actions and relationships change the responsibility of the pharmacist to the point of, in some cases, genuine pharmaceutical care, i.e. taking charge of the patient. Throughout their academic careers, pharmacy students will increasingly have to develop interpersonal skills that were once superfluous. Skills become quite reasonably acquirable through the simulation method. Simulation, in fact, interpreting Stefanie Di Russo (2016), can give an overview and train the learner’s empathy with an approach that starts from vision framing – more focused on the achievement of an experience rather than on a tangible result – with the intention of creating ideal experimentation capable of fostering and conveying the development of specific skills.

Faced with such a scenario and under the impetus of a didactic innovation attentive to the opportunities offered by digital technology, the ‘Virtual Pharmacy, Real Skills’ project was born with the aim of integrating the simulation method into

university pharmacy education, making it sustainable from a digital perspective integrated into institutional teaching.

H5P and simulation as a training method | H5P is a framework to support the development of interactive HTML5 content easily applicable in education and training; a free and open source (MIT licence) community that aims to make it easy to create, share and reuse content developed in HTML5. A significant aspect supporting the use of H5P is that it fulfils the requirements of Universal Design for Learning (UDL), as it allows for the combination of multiple means of representation and for working on motivation, metacognitive skills and feedback. H5P does not require specific programming skills but does require creativity and instructional design skills. That translates into easy access by trainers, both in terms of personal skills and IT resources, to more complex interaction tools such as virtual or augmented reality.

Content creation occurs within a visual editor, almost always following the logic of WYSIWYG ‘What You See Is What You Get’. Authors receive requests to fill in fields, upload images and choose specific settings or not. In addition, the software offers the development of numerous digital content such as interactive videos, course presentations, games, audio recordings and much more. With reference to the experimental case study, the H5P tool played a fundamental role in the realisation and success of the digital simulation.

Specifically, in this case, the Branching Scenario tool was used, which allows the creation of adaptive tree-structured paths and a corresponding scoring system (per element and/or global). Following the construction of an interaction script around which to carry out the entire simulation, its digital interface used the different models offered by the chosen tool: for the introduction, instructions, dialogues and conclusion, the Course Presentation model was used, which allows the creation of slides containing images and text. The model used for questions and answers is the Branching Question, a model that provides pop-ups that appear on the previous dialogue asking the student the question and, after the response, feedback to the user with indications as to whether or not their answer is correct.



Fig. 9 | Infographic: User (student) questionnaire outcomes in relation to the methods and tools used during the simulation: learning satisfaction (credit: S. Pregaglia and F. Delprino, 2022).

Fig. 10 | Infographic: User (student) questionnaire outcomes in relation to self-assessment and the learning process undertaken: confidence in one's own learning, part 1 (credit: S. Pregaglia and F. Delprino, 2022).

Fig. 11 | Infographic: User (student) questionnaire outcomes in relation to self-assessment and the learning process undertaken: confidence in one's own learning, part 2 (credit: S. Pregaglia and F. Delprino, 2022).

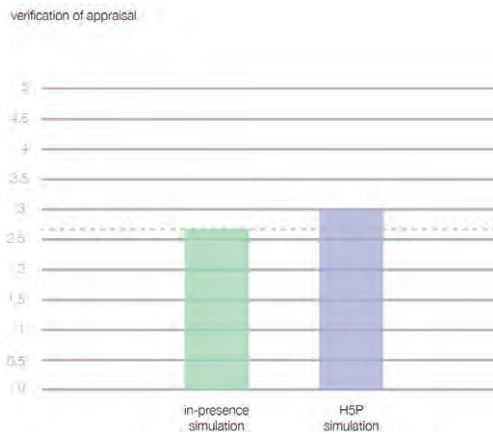


Fig. 12 | Infographic: user questionnaire outcomes (students) in relation to knowledge and skills acquired through simulation (credit: S. Pregaglia and F. Delprino, 2022).

Case studies: virtual and reality compared |

This research combines the aspect of experiential learning with the use of the digital tool of H5P contextualised to the needs arising with the Pharmacy of Services and tested through two pilot case studies involving fourth and fifth-year students of the Degree Course in Pharmacy at the University of Liguria. The principal aim of this research was to test the efficacy of the simulated system in asynchronous and virtual modalities with respect to the equivalent live simulation. The learning objectives addressed in both versions concern the enhancement of theoretical skills as regards the pharmacist’s obligations and duties and the improvement of interpersonal and problem-solving skills when faced with complex situations. In both cases, the task to be performed dealt with the blood pressure measurement service of a hypertensive patient.

In order to evaluate the training effectiveness of the method and the User Experience, questions from the Student Satisfaction and Self-Confidence in Learning questionnaire (Pence, 2022) were administered in the two conditions, using the original 13-item version to evaluate the in-person training and the 16-item variant with 3 additional questions on the evaluation of the online experience. In either case, the question comes immediately after the simulation via an online platform. The live simulation scenario involved the setting up of a mock pharmacy inside a university lecture hall, the use of an actor and on-site resources to recreate the work environment in which the student will work after graduation, while digital simulation involved designing a Branching Scenario with H5P software.

The project applicable is set up and developed according to the 5 phases (Empathize, Define, Ideate, Prototype, Test) of Design Thinking, with an iterative and non-linear path from the initial empathy with the context to the design and prototyping of the simulation paths and their verification through user testing; the latter (see the previous lines) in the form of questionnaires aimed at obtaining the necessary feedback to assess the goodness of the method and to facilitate future optimisation. Design Thinking as a design process was associated with Creative Thinking, User Experience principles, Interaction Design and Cognitive Ergonomics in the conception phase of the

two pilot experiments. As the simulation types were different, one real and the other virtual, the structure and administration procedure were different, the sample of students participating was also varied to avoid distorting the learning outcomes (Fig. 2, 3).

The actual in-person simulation fell into three phases: the briefing in which the students learn how to perform the activity with the presentation of the actor with whom they will interact; the simulated scenario and, finally, the guided debriefing (Alinier, 2011) to allow students to investigate and consolidate knowledge, associated with self-assessment by means of a questionnaire on personal satisfaction, confidence in their own learning and actual learning of the subject content (Fig. 4, 5). The virtual simulation, on the other hand, was divided into four phases: the students’ access to a Moodle instance purposely created for the simulation on AulaWeb through which they could use the following phases in sequence; the completion of a brief preliminary questionnaire to investigate the relational and technological skills of the users involved in the project; the virtual simulation in the H5P⁴ environment and, finally, the administration of a questionnaire equal to that of the in-presence simulation with the addition of 3 questions relating to the digital experience just enjoyed, taken from the System Usability Scale (Lewis, 2018; Fig. 6-8).

A different administration sample corresponds to each type of simulation: for the in-person simulation, the model consists of 19 students attending the fourth year of the Pharmacy course at the University of Genoa; for the virtual simulation, however, the sample corresponds to 11 students attending the fifth year Pharmacy course at the same University.

The final objective of the experimentation in the actual and virtual environment is to test whether the two types of experience were comparable with regard to both didactic usefulness and skills acquisition. After collecting the answers provided by the students, we made a quantitative analysis of the scores obtained in the two tests and the user experience questions. The results confirm that the virtual simulation achieves the same training objectives as a realistic simulation without compromising the effectiveness of the training experience, as there are no significant differences between the two conditions (Fig. 9-12). Furthermore, the User Experience evaluation reported high satisfaction values with an average score of 4.53 out of 5. Particularly for future optimisation of the process, it seems appropriate to point out that the users of the digital simulation report occasional difficulties in obtaining help from the system in the case of concepts or ambiguous questions, whereas, despite the small number of questions submitted, they achieve 100% positive results with regard to the verification of actual learning.

Critical reflections and contemporary debate |

Several international researchers have questioned how to maintain all those digital learning tools acquired in the various universities and vocational training contexts during the pandemic emergency, exploiting their possibilities; in particular by increasing the modes of interaction and engagement in order to develop technical skills,

domain-specific knowledge as well as empathy. Transforming lecture recordings into online learning content can be a quick strategy to create a solid basis for blended learning approaches, consolidating teaching through interactive methods such as those offered between H5P via Moodle, which is thus a procedural advantage (Wehling et alii, 2021). On a didactic level, the advantage lies mainly in the possibility of customising the tool, not in a one-size-fits-all and repetitive manner, construction of an ad hoc model to suit a particular class and context, so as to adapt it to needs and contingencies. Compared to an exclusively frontal lesson, it also allows confronting possible scenarios from a visual and auditory point of view. Moreover, compared to a pure lecture, it offers the chance to deal with possible scenarios from a visual and auditive point of view too.

In this regard, a quantitative study (Mir, Iqbal and Shams, 2022) conducted by the Allama Iqbal Open University (AIQU) in Pakistan investigates the level of student satisfaction with interactive video content on Moodle in online learning. The reported success metrics were classified by investigating I) Information Quality; II) System Quality; III) Service Quality; IV) Intention to Use; V) User Satisfaction. This research shows that students are partly satisfied by the learning management system, manifesting a need for more stimulating tools and modes for subjects in which they do not identify a high degree of interest; also demonstrates the user-friendliness of H5P, which allows for dynamic and interactive content, suitable for creating greater engagement, capable of being transferred to any device and shared as stationary material. Rachele Singleton e Amanda Charlton (2019) propose an ‘active learning’ model that uses H5P activities. Activities aim to assess in a formative way students’ understanding of the content taught in anatomy, physiology and pathology degree courses, ensuring the achievement of specific learning outcomes and providing comprehensive and automatic feedback monitored by lecturers and tutors.

Beyond the tool itself and its capabilities, reflection on simulation must also take place: a tool, however interactive and engaging in nuce, must find a specific methodology on the part of the teacher and/or researcher. As a teaching approach that allows the student to prefigure plausible future scenarios in which to intervene, use of simulation relies on an ethical design and teaching approach. Decision-making and project phases are identifiable in: 1) anticipation; 2) reflection; 3) deliberation; 4) reactivity (Culén and Karahasano- vic, 2022) for a process from anticipation to self-awareness. By adopting this point of view, simulation becomes a flexible and efficient tool that, instead of stereotyping users, creates the ability to adapt and anticipate specific situations, combining know-how and the development of interpersonal skills, which are fundamental for the professional in the medical field (and not only).

Conclusions |

The research project and applied case studies illustrated in this essay, also by virtue of the critical reflections summarised in the previous section, prove to be fully in line with contemporary debate and experimentation. The work conducted was innovative insofar as it was unprecedented, mainly because it was able to demon-

strate in a short period the validity of the simulation method in an educational setting, such as the Pharmacy Degree Course, where its use was not widely popular, at the same time it was able to verify the opportunity to migrate this practice successfully from analogue to digital.

The condition in which the student population lived due to the pandemic offered opportunities to reflect on the possibility of using alternative teaching activities to face-to-face teaching. Research at the University of Genoa shows how introducing technology in these areas can be a valuable resource, especially for teaching students to empathise in cases where practical experience is not an option.

H5P proved a helpful tool in developing several relevant skills, specifically those related to didactic learning and behavioural skills, and was easy to use by teachers and learners without high-profile IT skills or financial resources for licence management. The comparison between the two case studies of real and virtual simulation also highlighted several points in favour of the second method, including the achievement of the set

learning objectives, user acceptance and the lower expenditure of economic resources. The actual simulation, for every applied project, implies the physical set-up and a kind of theatricalisation of the environment where the simulation runs, causing poorly amortizable costs with limited flexibility to replicate or modify over time the learning scenario set-up. Virtual simulation, on the other hand, allows one to act on the H5P software to modify, optimise and adapt the user experience whenever this is useful or necessary. In addition, simulation with H5P can be used independently by students, with no time or participant limits.

The pilot case studies of 2021 and 2022 show some limitations that the research project aims to overcome with further experimentation: the small number of users involved due to the ongoing pandemic event and the relative simplicity of the simulation scenario administered. The latter aspect was intentionally left simple since the initial purpose of the experiment is to assess this method and the tools adopted rather than the complexity of the achievable learning context. Further deepening and developing the

research, which is partly in progress but not yet completed, will allow for more complex simulation experiments.

The multidisciplinary approach through which to manage the project and the process, the replicability of the method, the possibility of inclusion and personalisation of the experience, and the greater versatility of updating the digital simulation with respect to the real one give hope for interest in the part of a broader scientific community than at present. The desire for sociability and the development of all those 'weak links' typical of interpersonal human relationships could push us to abandon, rather than preserve, the best digital practices initiated during the pandemic. However, with a coherent 'phygital approach', capable of mediating different experiences according to the needs of university education, it will be possible to safeguard research experiences such as the one illustrated in this essay and to achieve a mature digital transition in academia as well.

Acknowledgements

The paper is the result of a joint reflection of the Authors. Notwithstanding, the introductory paragraph and 'Pharmacy Services' have to be attributed to M. C. Morozzo, the 'Simulation in the medical field' and 'Conclusions' to F. Bracco, 'H5P and simulation as a training method' and 'Critical reflections and contemporary debate' to F. Delprino, 'Case studies: virtual and reality compared' to S. Pregaglia.

Notes

1) The University of Genova bases its experience on various committees and working groups oriented towards educational innovation and coordinated by the UniGe Teaching and Learning Centre (UTLC). The three-year period 2020-22 saw synergy and collaboration with and collaboration with the E-learning, Multimedia and Web Tools Service, which manages the AulaWeb platform on Moodle, and with the University Data, Informatics and Telematics Centre, which is the contact point for the Teams platform. Within AulaWeb, the H5P software was integrated in 2020, making more than 40 resources available to students and lecturers to create interactive content.

2) Project 'Virtual Pharmacy, Real Skills'; Head of Research: F. Bracco (Department of Education Sciences); Research Group: E. Russo (Department of Pharmacy); M. C. Morozzo della Rocca e di Bianzè and F. Delprino (Architecture and Design Department); S. Pregaglia (LM in Digital Humanities Communication and New Media); Duration: a.y. 2021-22; Research reference programme: POT Funds of the CDS in Pharmacy, University of Genoa (Italy). Possible partners for further research developments: SimAv (University Service Centre for Simulation and Advanced Training), Genoa Pharmacists' Association, Federfarma Genoa.

3) There are basically three reasons for the introduction of services within the pharmacy: the increase in average age and the consequent increase in the need for healthcare, the inability of hospitals to manage not only acute illnesses but also chronic patients, and finally the certainty that healthcare costs, given the current economic situation, will soon become unsustainable. Following this realisation and the publication, in 2011, of three Italian Ministerial Decrees (Decree of 16 December 2010 – G.U. n. 57 of 10 March

2011, Decree of 16 December 2010 – G.U. n. 90 of 19 April 2011, Decree of 8 July 2011 – G.U. n. 229 of 1st October 2011), the face of the pharmacy system changes and the Pharmacy Services is officially established.

4) The H5P simulation is structured to absorb the debriefing provided in the presence simulation with a series of interactive feedbacks that the software generates during the user experience based on student responses during the virtual session.

References

- Adrian, J. A. L., Zeszotarski, P. and Ma, C. (2015), "Developing pharmacy student communication skills through role-playing and active learning", in *American Journal of Pharmaceutical Education*, vol. 79, issue 3, article 44, pp. 1-8. [Online] Available at: doi.org/10.5688/ajpe79344 [Accessed 26 September 2022].
- Almier, G. (2011), "Developing high-fidelity health care simulation scenarios – A guide for educators and professionals", in *Simulation & Gaming*, vol. 42, issue 1, pp. 9-26. [Online] Available at: doi.org/10.1177%2F1046878109355683 [Accessed 26 September 2022].
- Culén, A. L. and Karahasanović, A. (2022), "Towards responsible interaction design education", in Lockton, D., Lenzi, S., Hekkert, P., Oak, A., Sádaba, J. and Lloyd, P. (eds), *DRS2022 Conference Proceedings – Bilbao, 25 June-3 July, Bilbao, Spain*, pp. 1-18. [Online] Available at: doi.org/10.21606/drs.2022.465 [Accessed 26 September 2022].
- Di Russo, S. (2016), *Understanding the behaviour of design thinking in complex environments*, unpublished PhD Thesis, Swinburne University, Melbourne. [Online] Available at: researchbank.swinburne.edu.au/file/a312fc81-17d3-44b5-9cc7-7ceb48c7f277/1/Stefanie%20Di%20Russo%20Thesis.pdf [Accessed 26 September 2022].
- Gibbs, G. (1998), *Learning by Doing – A guide to Teaching and Learning methods*, Fell, London. [Online] Available at: thoughtsmostlyaboutlearning.files.wordpress.com/2015/12/learning-by-doing-graham-gibbs.pdf [Accessed 26 September 2022].
- Jackson, L. D. and Duffy, B. K. (eds) (1998), *Health communication research – A guide to developments and directions*, Greenwood Press, Westport (CT).
- Lewis, J. R. (2018), "The system usability scale – Past, present, and future", in *International Journal of Human-*

Computer Interaction, vol. 34, issue 7, pp. 577-590. [Online] Available at: doi.org/10.1080/10447318.2018.1455307 [Accessed 10 October 2022].

Mir, K., Iqbal, M. and Shams, J. (2022), "Investigation of Students' Satisfaction about H5P Interactive Video on MOODLE for Online Learning", in *International Journal of Distance Education and E-Learning*, vol. 7, n. 1, pp. 71-82. [Online] Available at: doi.org/10.36261/ijde.v7i1.2228 [Accessed 26 September 2022].

Pence, P. L. (2022), "Student satisfaction and self-confidence in learning with virtual simulations", in *Teaching and Learning in Nursing*, vol. 17, issue 1, pp. 31-35. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.teln.2021.07.008 [Accessed 10 October 2022].

Puglisi, G. (2016), "I servizi offerti dalla farmacia", in *Journal of Applied Ceremonial and Communication in Management*, n. 3, pp. 19-27. [Online] Available at: ancit.it/images/rivista/17-Mindfulness-valutazione-e-trattamento.pdf [Accessed 26 September 2022].

Schunk, D. H. and Zimmerman, B. J. (1998), *Self-regulated learning, from teaching to self-reflective practice*, The Guilford Press, New York.

Singleton, R. and Charlton, A. (2019), "Creating H5P content for active learning", in *Pacific Journal of Technology Enhanced Learning*, vol. 2, issue 1, pp. 13-14. [Online] Available at: doi.org/10.24135/pjtel.v2i1.32 [Accessed 26 September 2022].

Sponton, A. and Iadeluca, A. (2014), *La simulazione nell'infermieristica – Metodologie, tecniche e strategie per la didattica*, Casa Editrice Ambrosiana, Milano.

Wallman, A., Vaudan, C. and Sporrang, S. K. (2013), "Communications training in pharmacy education, 1995-2010", in *American Journal of Pharmaceutical Education*, vol. 77, issue 2, article 36, pp. 1-9. [Online] Available at: ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3602860/ [Accessed 26 September 2022].

Wehling, J., Volkenstein, S., Dazert, S., Wrobel, C., van Ackeren, K., Johannsen, K. and Dombrowski, T. (2021), "Fast-track flipping – Flipped classroom framework development with open-source H5P interactive tools", in *BMC Medical Education*, vol. 21, article 351, pp. 1-10. [Online] Available at: doi.org/10.1186/s12909-021-02784-8 [Accessed 26 September 2022].

Zannini, L. (2005), *La tutorship nella formazione degli adulti – Uno sguardo pedagogico*, Guerrini Scientifica, Milano.

PERCEZIONE E PLASTICHE SOSTENIBILIUn tool digitale per gestire
estetica e sostenibilità**PERCEPTION AND SUSTAINABLE PLASTICS**A digital tool to manage
aesthetics and sustainability

Barbara Del Curto, Lia Sossini, Romina Santi, Flavia Papile

ABSTRACT

Ad oggi i designer si esprimono nella progettazione ma assumono un ruolo attivo anche nell'applicazione di nuovi materiali, divenendo sia sperimentatori sia esperti della gestione di estetica e sensorialità. Le plastiche sostenibili sono relativamente nuove sul mercato, ma, nonostante un grande interesse applicativo, non sono ancora caratterizzate da una chiara identità estetico-sensoriale. Questo studio esplora le proprietà estetico-espressive delle plastiche sostenibili secondo i principi del design CMF e mira ad approfondirne la percezione negli utenti. I dati, raccolti tramite due attività di indagine, hanno permesso di progettare uno strumento digitale volto a creare maggiore consapevolezza nei progettisti che intendono avvicinarsi alla progettazione con le plastiche sostenibili e a valorizzarne gli effetti percettivi.

Today, designers find expression through project design but also assume an active role in the application of new materials, becoming both researchers and experts in the management of aesthetics and sensoriality. Sustainable plastics are relatively new on the market, but, despite considerable application interest, they do not yet have a clear aesthetic-sensory identity. This study explores the aesthetic-expressive properties of sustainable plastics according to the principles of CMF design and aims to investigate user perception. The data, collected through two surveys, has enabled the development of a digital tool to create greater awareness in designers wishing to approach design with sustainable plastics and enhance their perceptual effects.

KEYWORDS

plastiche sostenibili, percezione dei materiali, progettazione digitale, estetica, identità materica

sustainable plastics, material perception, digital design, aesthetics, material identity

Barbara Del Curto, PhD in Materials Engineering, is a Full Professor of Design at the Politecnico di Milano (Italy). Her research focuses on the design of materials and surfaces, with particular attention to innovative and functional materials, nanotechnologies and functional surface treatments. E-mail: barbara.delcurto@polimi.it

Lia Sossini is a Research Fellow at the Department of Chemistry, Materials and Chemical Engineering 'Giulio Natta' at the Politecnico di Milano (Italy). Her work focuses mainly on analysing the perception of sustainable materials that combine elements of CMF design and sustainability. Mob. +39 346/793.12.08 | E-mail: lia.sossini@polimi.it

Romina Santi, PhD, is a Researcher at the Department of Chemistry, Materials and Chemical Engineering 'Giulio Natta' of the Politecnico di Milano (Italy). Her research focuses on the effects of materials design on consumer behaviour, with a particular focus on the impact on sustainability. E-mail: romina.santi@polimi.it

Flavia Papile, PhD, is a Research Fellow at the Department of Chemistry, Materials and Chemical Engineering 'Giulio Natta' of the Politecnico di Milano (Italy). Her research focuses on the transferability in corporate contexts of design methodologies to redefine the material selection process with a view toward sustainable production. E-mail: flavia.papile@polimi.it



In un momento di transizione verso nuovi modelli di produzione, il Design assume un ruolo centrale (Antonelli, 2008) introducendo nuovi modelli di consumo, trovando nuove soluzioni materiche o potenziando l'aspetto digitale. Ad oggi assistiamo a una rivoluzione nei materiali per il design: designer e aziende sono costantemente alla ricerca di alternative 'più sostenibili' rispetto a quelle tradizionali, indagando su materiali a base biologica, biodegradabili e/o compostabili, provenienti da scarti, riciclo, ecc. (Bahrudin and Aurisicchio, 2018; Rognoli et alii, 2015). Il veloce sviluppo e inserimento sul mercato di questi nuovi materiali ha dato prova di grande prontezza industriale, ma ha anche generato una 'crisi' della loro identità estetico-sensoriale, producendo confusione e contraddizioni nella percezione dei consumatori. La presente ricerca si inserisce nell'ambito della progettazione per l'economia circolare, esplorando la sostenibilità da una prospettiva orientata ai materiali e riflettendo sul ruolo del designer. Il lavoro è stato condotto in continuità con le ricerche sulla progettazione innovativa del gruppo Making Materials¹ (Papile et alii, 2021; Papile, Marinelli and Del Curto, 2020). Le necessità dovute allo smart working e la velocità dell'evoluzione tecnologica, accelerate anche dalla pandemia Covid-19, hanno fatto sì che gran parte delle attività quotidiane si trasferissero online, cambiando le modalità di interagire e acquisire conoscenza (Almeida, Duarte Santos and Monteiro, 2020).

Le immagini sono diventate il veicolo principale di informazioni e al senso della vista viene data la responsabilità di percepire e trasferire emozioni e sensazioni. Nonostante alcuni studi sperimentali su possibili schermi aptici (Shin, Cho and Lee, 2020; Chang and Nesbitt, 2006), non si è ancora introdotta una soluzione che permetta di 'fruire' efficacemente delle caratteristiche materiche in modalità digitale. L'obiettivo della presente ricerca è indagare come gli attributi materiche, ad oggi risultano fortemente legati all'interazione con campioni fisici di materiali, possano essere tradotti digitalmente. L'ideazione di SMaPT (Sustainable Materials and Perception Tool) ha una diretta ricaduta sulle attività di selezione dei materiali e di progettazione, per cui la progressiva digitalizzazione ha reso sempre più difficile la comunicazione di caratteristiche legate a sensi diversi dalla vista.

I materiali presi in esame per lo studio sono le 'plastiche sostenibili' (PS), ossia plastiche riciclate e le bioplastiche, che nascono come risposta alle politiche europee sulla sostituzione delle plastiche fossili (European Parliament, 2019). Le PS, tanto per l'origine quanto per le proprietà e i processi, hanno spesso qualità sensoriali uniche (Zafarmand, Sugiyama and Watanabe, 2003). A causa del crescente interesse dei consumatori per i temi della sostenibilità, le aziende hanno iniziato a sfruttare strategicamente le caratteristiche proprie dei materiali sostenibili anche come leva di marketing. È importante precisare che nell'ottica di economia circolare, non è da considerarsi sostenibile il mero prodotto o il materiale ma l'intero sistema che gli ruota intorno (Gardien et alii, 2014). Diventa pertanto fondamentale comprendere come le PS vengono percepite dal consumatore e quali dubbi, incertezze e comportamenti non-sostenibili potrebbero generare (Santi, Elegir and Del Curto, 2020).

Attraverso la definizione di un'identità di PS, i prodotti possono essere implementati sulla dimensione sensoriale-espressiva anche per indurre pratiche sostenibili. Raggiungere questo risultato è un processo complesso dal momento che solo alcuni aspetti sensoriali dei materiali possono essere facilmente misurabili; altre proprietà sono combinazione di processi attraverso i quali gli utenti sperimentano un prodotto (Karana, 2009). Diversi studi (Balaji, Raghavan and Jha, 2011; Spence and Gallace, 2011; Wilkes et alii, 2016; Zuo et alii, 2016) si sono occupati di questo aspetto, analizzando come i materiali comunicano le loro proprietà e come la percezione sensoriale influenzi il design. Gli elementi che entrano in gioco sono complessi, sia per l'esclusività delle caratteristiche dei materiali sia per la relazione tra le sensazioni evocate e la dipendenza dal contesto (Fleming, 2014). Il progettista può selezionare e modellare gli attributi estetico-sensoriali dei materiali per progettare anche la percezione dell'utente in relazione all'intento del progetto (Bahrudin and Aurisicchio, 2018).

Il design CMF (Colore, Materiale e Finitura) facilita invece la generazione di equilibrio comunicativo per garantire un'esperienza sensoriale soddisfacente, riuscendo a suscitare emozioni positive grazie all'aumento del valore esperienziale del prodotto stesso, senza trascurarne la funzionalità (Becerra, 2016). Per determinare i principali aspetti percettivi delle PS, questo lavoro si basa su tre pilastri principali (Fig. 1): casi studio di PS, la loro percezione e la progettazione di CMF. Mentre i primi due pilastri hanno permesso di identificare il campo di indagine, il design CMF, elemento fondante di SMaPT, è stato impiegato attraverso strumenti quali moodboard di parole chiave e immagini, per rappresentare nuovi scenari percettivi. Lo sviluppo della ricerca e la genesi di SMaPT hanno seguito un approccio sperimentale strutturato in due studi principali illustrati nei paragrafi successivi.

Metodologia | Il primo studio condotto (valutare la percezione della sostenibilità) è stato incentrato sull'identificazione di un immaginario comune del significato di 'sostenibilità dei materiali'. Questa fase è stata necessaria per tracciare un profilo delle caratteristiche dei materiali che suggeriscono una 'sensazione di sostenibilità' a un pubblico generico. Per raccogliere dati, raggiungendo un gruppo eterogeneo di partecipanti, è stato diffuso un modulo online anonimo, utilizzando i fogli di Google Form. Lo studio è stato suddiviso in quattro fasi principali (Fig. 2): 1) dopo una profilazione, è stato chiesto agli intervistati quale fosse la loro visione della sostenibilità in termini di sensibilità al tema e di attenzione all'acquisto dei prodotti; 2) è stata poi proposta un'immagine di diversi campioni di PS da ordinare in base al livello di sostenibilità percepito, per collegarli successivamente a ipotetiche applicazioni; 3) sono stati identificati i prodotti e i materiali più sostenibili già presenti sul mercato; 4) dopo aver visionato diversi materiali e prodotti, agli intervistati è stato chiesto, attraverso una domanda a scelta multipla, quali attributi descrivevano un materiale sostenibile. I casi studio di PS scelti per il Form sono stati selezionati in base alle loro caratteristiche estetiche, concentrandosi su esempi diversificati e controversi, per esempio

biopolimeri che simulano trasparenze tipiche di polimeri da fonti fossili.

Dopo aver definito le caratteristiche generali dei prodotti sostenibili, nel secondo studio è emersa la necessità di analizzare campioni specifici di materiale. Per poter capire come fosse la resa a schermo delle caratteristiche proprie delle PS, è stata scelta la modalità di svolgimento online con un'analisi tramite immagini descrittive dei campioni stessi (Fig. 3). I partecipanti hanno ricevuto il link a un modulo online, le istruzioni e la documentazione per il test: una cartella con le immagini di sette campioni (denominati tramite codici); un foglio con gli aggettivi da attribuire ai campioni; diverse tavole di immagini (denominate con codici) da associare agli aggettivi. Per quanto riguarda l'associazione di caratteristiche e immagini, il riferimento preso in esame è stato lo studio del MiPS di van Kesteren, Stappers e de Bruijn (2007) in cui si propone di collegare immagini e parole chiave; mentre della ricerca di Karana (2012) sono stati adottati i criteri descrittivi 'naturale' e 'di qualità'. Per quanto riguarda l'analisi sensoriale, i riferimenti sono stati presi dallo strumento Ma2E4 (Camere and Karana, 2018) e dalla ricerca sulla percezione delle caratteristiche dei materiali di Zuo et alii (2001).

Per il test sono state selezionate 25 PS, principalmente bioplastiche (tra il 60-100% bio-based), plastiche da materiali riciclati al 100% (fatta eccezione per un caso al 50%), o misti tra queste due categorie (Tab. 1). Quindi i materiali sono stati mappati e organizzati (Fig. 4, 5) rielaborando il modello di Bahrudin, Aurisicchio e Baxter (2017). Il test è stato suddiviso in cinque fasi principali (Fig. 6): 1) profilazione – sebbene l'analisi fosse anonima, sono stati richiesti l'età, il sesso, il genere, la formazione, la nazionalità e la sensibilità alle questioni ambientali; 2) valutazione generale – per ogni campione sono state ripetute le stesse sezioni, chiedendo come prima domanda di identificare il materiale e la possibile applicazione; 3) descrizione – è stato chiesto di attribuire quattro aggettivi al materiale analizzato, scelti dall'elenco fornito o proposti dai partecipanti e poi di associare ai quattro aggettivi altrettante immagini che meglio rappresentavano le sensazioni percepite; 4) valutazione della sostenibilità – è stato chiesto di attribuire un punteggio al valore della naturalezza e della sostenibilità percepite, assegnando una scala Likert da 0 a 10; 5) valutazione sensoriale – è stato chiesto di valutare le caratteristiche visive, opaco-trasparente, pattern/fibre-colore tinta unita, non riflettente-riflettente, opaco-lucido, assegnando una scala Likert da 0 a 10. Il tempo medio stimato per lo svolgimento del test è stato di circa 1 ora; dopo il test gli attributi sono stati suddivisi e organizzati secondo le categorie descrittive (Fig. 7) elaborate da Karana (2009) e riprese da Bahrudin e Aurisicchio (2018).

L'applicazione di tale metodologia ha permesso di identificare elementi fondamentali per la creazione di SMaPT. Grazie al primo studio sono state rintracciate informazioni generali riguardanti la percezione delle PS; nel secondo studio, sono stati identificati aggettivi e immagini associati ai campioni selezionati di PS, correlazioni ricorrenti tra percezione di sostenibilità e naturalezza associate a immagini di campioni di PS, attributi legati alla percezione visiva delle PS.

Risultati | Nel primo studio l'eterogeneo campione di intervistati ha fornito 133 risposte (Fig. 8) dimostrando attenzione per le tematiche ambientali. Su una scala da 1 (per niente) a 5 (molto), il 97,8% ha espresso un livello di interesse medio-alto alle tematiche di sostenibilità sebbene gli intervistati abbiano ammesso che non sempre prestano attenzione all'origine dei prodotti che acquistano (il 22,6% non è attento e più della metà 51,9% lo è solo talvolta). Riguardo al significato di 'materiali naturali', l'attenzione si è concentrata su tre aspetti principali: origine, processo e dismissione. Le risposte relative al significato di 'materiale sosteni-

bile', invece, si sono divise su diversi temi, come si può vedere dal grafico in Figura 9.

Dalla lettura dei risultati della seconda fase emerge che i materiali grezzi e lattiginosi vengono scelti per il loro aspetto sostenibile; nell'ordine di preferenza seguono i campioni che presentano ruvidità, segni o inclusioni, colori neutri o trasparenze poco definite, mentre i meno scelti sono i materiali lisci con colori artificiali. Nella scelta dei possibili impieghi dei materiali selezionati (prodotto durevole, prodotto monouso, packaging di lusso), nel caso di applicazioni ad alte prestazioni sono stati associati materiali percepiti come poco sostenibili.

Nella terza fase agli intervistati sono stati sottoposti prodotti e materiali, presenti sul mercato, realizzati con PS: quelli percettivamente più sostenibili risultano avere inclusioni, superfici ruvide, irregolarità nella colorazione e fibre naturali. Infine nell'ultima fase è stata valutata la percezione di un materiale sostenibile: la prima caratteristica scelta è il colore naturale, seguita dalla presenza di fibre e irregolarità in termini di colorazione e di superfici.

In generale è possibile affermare che dal sondaggio è emersa una scarsa distinzione tra i significati di 'naturale' e 'sostenibile'. Inoltre, confrontando le risposte della medesima domanda posta all'inizio e alla fine dello studio, ovvero 'Secondo te, quali caratteristiche ha, al primo sguardo, un materiale sostenibile?', mentre nella prima risposta libera è stata data maggiore importanza all'esperienza del tatto, nell'ultima, avendo una domanda a risposta multipla, gli intervistati hanno scelto svariate caratteristiche con una maggiore consapevolezza derivante dall'osservazione delle immagini. Le fibre e le inclusioni all'interno del materiale hanno assunto maggiore importanza, mentre la rugosità, l'irregolarità del colore e della superficie, i colori neutri e chiari sono stati riconfermati come caratteristiche che rendono un materiale apparentemente più sostenibile. Il test ha verificato i risultati dello studio di Karana (2012) sulla valutazione dei concetti di 'naturale' e 'alta qualità', sebbene il campione di popolazione, l'area geografica, la cultura e le diverse sensibilità siano differenti.

Nel secondo studio sono stati coinvolti 30 designer di diversa provenienza e nazionalità selezionati all'interno dei Corsi di Laurea di Design&Engineering, PSSD e Integrated Product Design del Politecnico di Milano. I dati raccolti per ogni campione sono stati elaborati calcolando le medie e la deviazione standard per le valutazioni numeriche sulla scala Likert e combinando le sezioni degli aggettivi e delle immagini. Dall'analisi dei risultati ottenuti nella fase di associazione di aggettivi e immagini si rileva come la scelta di queste ultime sia stata coerente con l'attributo corrispondente e in linea con il materiale a cui si riferivano.

A questo proposito, va notato che le relazioni attributo-immagine hanno subito delle variazioni da un campione all'altro perché presumibilmente producevano sensazioni e significati diversi in base al materiale analizzato. È stato quindi possibile procedere alla suddivisione degli attributi di ciascun campione nei sei gruppi principali di categorie descrittive; rispetto a Barhudin e Aurisicchio (2018), la 'descrizione dell'uso' non è stata considerata in quanto si trattava solo di un'analisi dei materiali. Dall'analisi del test è emerso anche che le caratteristiche utilizzate per descrivere i materiali sono prevalentemente tecniche; seguono le caratteristiche sensoriali, espressive, emotive, associative e di produzione (Fig. 10). Tuttavia nei casi di materiali con un'estetica marcata si è fatto leva sull'aspetto sensoriale.

Sistematizzando tutti dati è stato possibile generare delle schede percettive del materiale non solo con scale che definiscono alcuni aspetti sensoriali, ma attraverso vere e proprie tabelle di immagini e parole chiave (Fig. 11). Il secondo test ha poi consentito di approfondire la percezione delle PS di diversa origine con risultati omogenei e allineati alle aspettative, grazie alla natura del campione degli intervistati (designer) consapevole

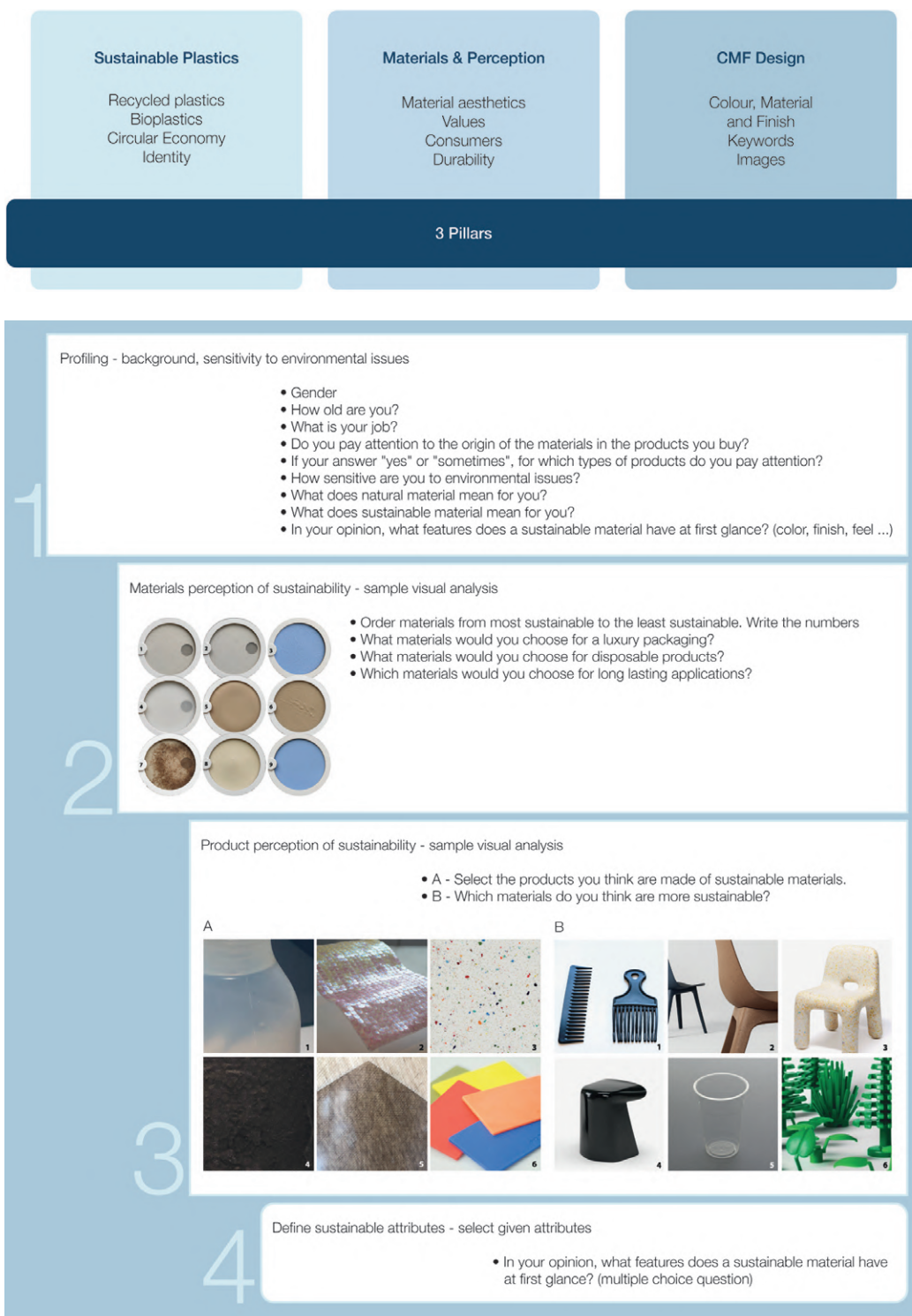


Fig. 1 | The three pillars (credit: the Authors, 2022).

Fig. 2 | The first test's sections (credit: image processed by the Authors based on material samples pictures retrieved on materialdistrict.com, 2020).

delle variabili in gioco. Dallo studio è emerso che per i materiali con un'estetica simile alla plastica tradizionale è più difficile valutare la sostenibilità, così come spaziare nell'attribuzione di caratteristiche specifiche; tuttavia, quando i materiali hanno un aspetto particolare, più definito, soprattutto in presenza di fibre o inclusioni, l'irregolarità della superficie e della trama si riconferma come comunicatore di sostenibilità e naturalezza.

Genesi di uno strumento | Combinando i risultati percettivi ottenuti dai due diversi studi e le schede con le immagini e le parole chiave derivanti solamente dal secondo, è stato possibile delineare lo strumento SMaPT, utile per progettare l'aspetto estetico-sensoriale delle PS. La sfida nasce dalla decisione di catalogare materiali che non hanno ancora una vera e propria identità percettiva e fornire una nuova tipologia di analisi delle PS che permetta di esprimere al meglio le loro potenzialità. La raccolta di immagini e parole chiave permette di selezionare materiali a partire da suggestioni e impressioni, ricondotte principalmente al senso della vista.

La selezione dà vita a un catalogo che, combinando i dati tecnici forniti dalle aziende con quelli derivanti dal secondo studio, propone una nuova visione del materiale. All'interno della scheda materiale viene data la possibilità di esplorare gli attributi relativi a finiture e colori, provenienti da elaborazioni dal primo studio (Fig. 12). SMaPT si rivolge principalmente ai progettisti per orientarli nella scelta di PS: lo strumento è concepito come una piattaforma interattiva online che mira a facilitare le attività di progettazione del designer così come la comunicazione tra progettista e committente, ispirando nuovi possibili scenari. SMaPT offre un metodo di selezione dei materiali basato in primis sulla percezione estetica e sensoriale espressa da immagini e parole chiave. Le raccolte di dati sono state fondamentali per la genesi di questo strumento che permette di consigliare e offrire linee guida nella progettazione con i materiali selezionati.

Dopo la scelta di immagini e parole chiave viene generata una prima moodboard che guida la selezione dei materiali corrispondenti alle immagini e parole scelte. È possibile quindi valutare ogni materiale attraverso delle schede in grado di fornire una panoramica: non solo informazioni percettive, ma anche relative all'origine, smaltimento, possibili applicazioni, processi e alcuni dati tecnici (Fig. 13). L'output finale dello strumento è una nuova moodboard assemblata ad hoc per il materiale scelto e per il progetto (Fig. 14). Ad oggi, per permettere un corretto funzionamento del tool sono stati analizzati e archiviati dagli autori 25 materiali, in un database che può essere continuamente ampliato e aggiornato per garantire affidabilità e varietà a SMaPT. Lo strumento, ancora in fase di validazione, è stato testato nel suo utilizzo tramite trial preliminari (Fig. 15) sia in ambito accademico che aziendale², traducendone i punti principali in attività. I prossimi step di sviluppo prevedono la finalizzazione dell'applicativo in forma digitale in modo da poterne testare l'efficacia in via definitiva.

Conclusioni | I materiali utilizzati nei nuovi prodotti sostenibili nascono dopo anni di ricerca e sviluppo affinché le loro prestazioni raggiungano e infine

Sample 20

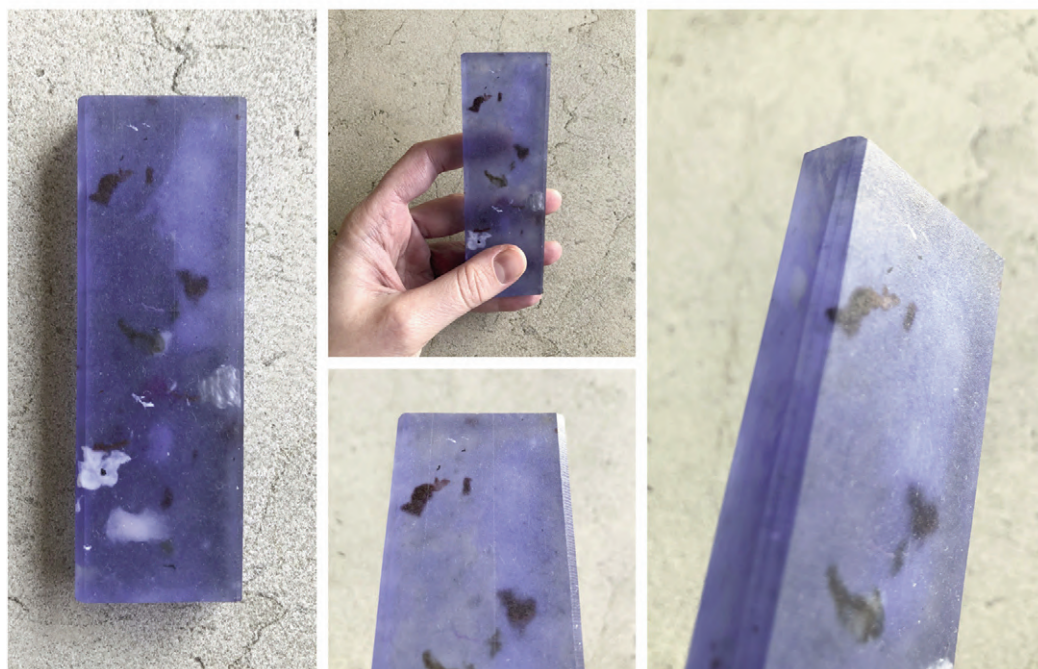


Fig. 3 | Sample descriptive table (credit: the Authors, 2020).

superino quelle tradizionali; tuttavia, la loro 'identità estetica e sensoriale' risulta ancora poco esplorata. In questo frangente il designer, con la sua multidisciplinarietà, è in grado di avere una visione olistica del prodotto considerando l'aspetto estetico-sensoriale del materiale rispetto al contesto e alla destinazione d'uso. La presente ricerca propone uno strumento che parte proprio dall'aspetto estetico-sensoriale per arrivare alla selezione di nuove soluzioni materiche tramite un approccio ispirazionale per i progettisti. SMaPT permette di tradurre tramite il senso della vista ulteriori sensazioni, come quelle derivanti da tatto o olfatto grazie alla loro rappresentazione in combinazioni di parole chiave e immagini. La costruzione di una moodboard permette di suscitare emozioni e sensazioni a partire da immagini e offre un primo tentativo di definire come un materiale possa essere reso attraverso un supporto digitale.

La ricerca e la raccolta dei dati effettuata per SMaPT è stata pensata per essere replicabile e implementabile. Tuttavia, alcune limitazioni del tool allo stato attuale devono essere menzionate: in primo luogo, nonostante la semplicità di utilizzo, il tool deve essere inserito all'interno di attività guidate come workshop o esercitazioni; la sua trasferibilità in forma di strumento online che si rivolge a un pubblico più ampio necessita di ulteriori sessioni validanti. In secondo luogo si potrebbe testare la congruenza tra l'analisi estetico-sensoriale di alcuni materiali, svolta tramite SMaPT, e quella effettuata sugli stessi in forma analogica, tramite interazioni dirette con i campioni di materiale o attraverso altri strumenti esistenti.

Le implicazioni dello studio illustrato ricadono nella promozione all'utilizzo consapevole delle PS nel progetto, considerandone non solo le proprietà tecniche ma anche quelle percettive. Ulteriori attività per determinare le potenzialità di SMaPT prevedono l'ampliamento del numero di materiali nel database del tool, così come ulteriori test a valle della definitiva programmazione della piattaforma digitale prevista. La possibilità di pro-

gettare e condividere aspetti percettivi dei materiali sostenibili tramite uno strumento fruibile online può essere un passo verso la definizione di nuovi scenari e la creazione di un linguaggio condiviso per l'estetica delle plastiche sostenibili.

At a time of transition towards new production models, Design plays a central role (Antonelli, 2008) by introducing new consumption models, finding new material solutions or enhancing the digital dimension. To date, we are witnessing a revolution in design materials: designers and companies are constantly looking for 'more sustainable' alternatives compared to traditional ones, investigating bio-based, biodegradable and/or compostable materials originating from waste, recycling, etc. (Bahrudin and Aurisicchio, 2018; Rognoli et alii, 2015). The rapid development and market entry of these new materials has demonstrated notable industrial readiness, and yet has also generated a sensory-aesthetic identity 'crisis', resulting in confusion and contradictions in consumer perception.

The present study is set within the framework of design for the circular economy, exploring sustainability from a materials-oriented perspective and reflecting on the role of the designer; it was carried out in continuity with the Making Materials¹ group's research on innovative design (Papile et alii, 2021; Papile, Marinelli and Del Curto, 2020). A large part of daily activities has moved online as a result of the demands caused by smart working and the speed of technological evolution, further accelerated by the Covid-19 pandemic, and this has changed the way people interact and acquire knowledge (Almeida, Duarte Santos and Monteiro, 2020).

Images have become the main vehicle of information and the sense of sight is given the responsibility of perceiving and transferring emotions and sensations. While there have been some

Samples	Name	Company	Description	Source
1	Arboblend 3180x	Tecnaro	Composite	100% biobased
2	Arboblend 3196v	Tecnaro	Composite	100% biobased
3	Biofoam	Sybra-Sulpol	PLA	100% biobased
4	Biograde C 5509 CL	Fkur	Cellulose composite	60% biobased
5	Kareline PLMS 6040	Plasthill Oy	Fiber reinforced PLA	100% biobased
6	Dryflex SC 50A82G1N A	Hexpol	TPE	80% biobased
7	Apigo Bio	Trinseo - Api Plast	TPO	68% biobased
8	Vestamid Terra DS22	Evonik	Polyamide	100% biobased
9	Fluidsolids	Fluidsolids	Composite	100% biobased
10	Arboform L V4	Tecnaro	Composite	100% biobased
11	Treeplast	PE Design & Engineering B.V.	Fiber reinforced PLA	100% biobased
12	WPC Bio PLA	Jelu Plast	Fiber reinforced PLA	100% biobased
13	WPC Bio PE	Jelu Plast	Fiber reinforced PE	100% biobased
14	Paperstone	Evostone	Composite	100% biobased
15	Arbofill Kokos	Tecnaro	Composite	80% biobased
16	Agriplast NFPP 3070	Biowert	Composite	30% biobased – 70% recycled
17	Agriplast NFPP 5050	Biowert	Composite	50% biobased – 50% recycled
18	Flat PP	Biowert	Composite	50% recycled biobased fiber – 50% recycled
19	PET/PETCopolyester	Smile	PET/ PETCOPOLYESTER	100% recycled
20	PET/PETCopolyester	Smile	PET/ PETCOPOLYESTER	100% recycled
21	PET/PETCopolyester	Smile	PET/ PETCOPOLYESTER	100% recycled
22	HIPS	Smile	HIPS	100% recycled
23	HDPE	Smile	HDPE	100% recycled
24	HDPE	Smile	HDPE	100% recycled
25	Durat RAL	Durat	Polyester	50% recycled

Tab. 1 | Samples studio 2.

experimental studies on possible haptic displays (Shin, Cho and Lee, 2020; Chang and Nesbitt, 2006), it is still not possible to effectively ‘enjoy’ material characteristics in digital mode. The present research aims is to investigate how material attributes, which to date appear to be strongly related to interaction with physical material samples, can be translated digitally. The development of

SMAPT (Sustainable Materials and Perception Tool) directly impacts material selection and project activities, where progressive digitalization has made it increasingly difficult to communicate characteristics related to senses other than sight.

The materials examined for this study are ‘sustainable plastics’ (SPs), i.e., recycled plastics and bioplastics, which emerged as a response to

European policies regarding the replacement of fossil plastics (European Parliament, 2019). SPs, both in origin and in properties and processes, often have unique sensory qualities (Zafarmand, Sugiyama and Watanabe, 2003). Due to the growing consumer interest in sustainability, companies have also begun to strategically leverage the inherent characteristics of sustainable materials as

marketing assets. However, it is important to clarify that, in the circular economy perspective, it is not merely the product or material that should be considered sustainable, but the entire system revolving around it (Gardien et alii, 2014). Therefore, it becomes crucial to understand how SPs are perceived by consumers and what doubts, uncertainties and unsustainable behaviours they may cause (Santi, Elegir and Del Curto, 2020).

By defining the identity of SPs, products can also be implemented on the sensory-expressive dimension to induce sustainable practices. Achieving this is a complex process since only some sensory aspects of materials can be easily measured; other properties are the combination of processes through which users experience a product (Karana, 2009). Several studies (Balaji, Raghavan and Jha, 2011; Spence and Gallace, 2011; Wilkes et alii, 2016; Zuo et alii, 2016) have addressed this issue, analysing how materials communicate their properties and how sensory perception influences design. The elements that come into play are complex, both because of the exclusivity of material characteristics and also because of the relationship between evoked sensations and context dependence (Fleming, 2014). The designer can select and shape the aesthetic-sensory attributes of materials, thus also designing the user's perception in relation to the project's intent (Bahrudin and Aurisicchio, 2018).

CMF design (Colour, Material and Finish), on the other hand, supports communicative balance to ensure a satisfying sensory experience, evoking positive emotions by increasing the experiential value of the product itself, without neglecting its functionality (Becerra, 2016). This research relies on three main pillars (Fig. 1) with the aim of determining the main perceptual aspects of SPs, i.e.: case studies regarding SPs, their perception and the design of CMFs. While the first two pillars enabled the identification of the field of inquiry, CMF design, the founding element of SMaPT, was applied by tools such as keywords, mood-boards and images to represent new perceptual scenarios. The research development and genesis of SMaPT followed an experimental approach organised in two main studies as illustrated in the following paragraphs.

Methodology | The first study (assessing the perception of sustainability) focused on identifying a common notion of the meaning of 'sustainability of materials'. This phase was required to profile the characteristics of materials that suggest a 'feeling of sustainability' to the general public. The data was gathered by using an anonymous Google Forms online survey, thus reaching a heterogeneous group of participants. The study was divided into four main phases (Fig. 2): 1) after profiling, the participants were asked to express their view of sustainability in terms of sensitivity to the issue and attention to purchasing products; 2) the participants were then asked to sort images of different SP samples according to the perceived level of sustainability, to be subsequently linked to hypothetical applications; 3) the most sustainable products and materials already on the market were identified; 4) after viewing different materials and products, the participants were asked to identify, through a multiple-choice questionnaire, the attributes which described a sustainable material.

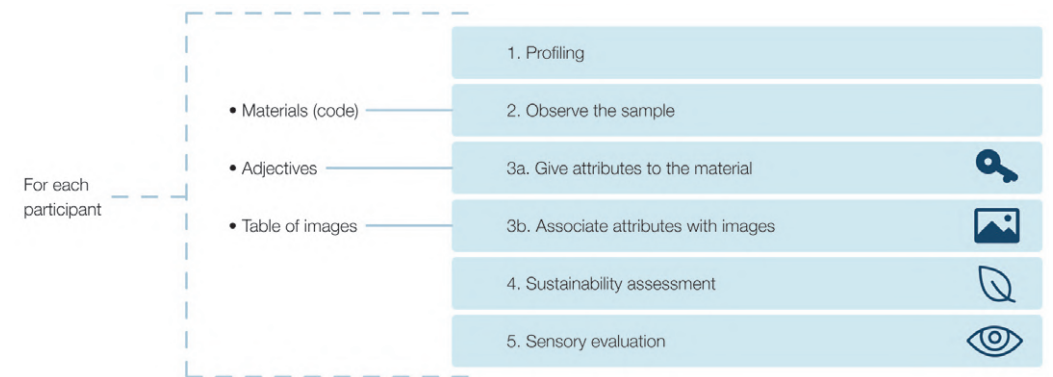
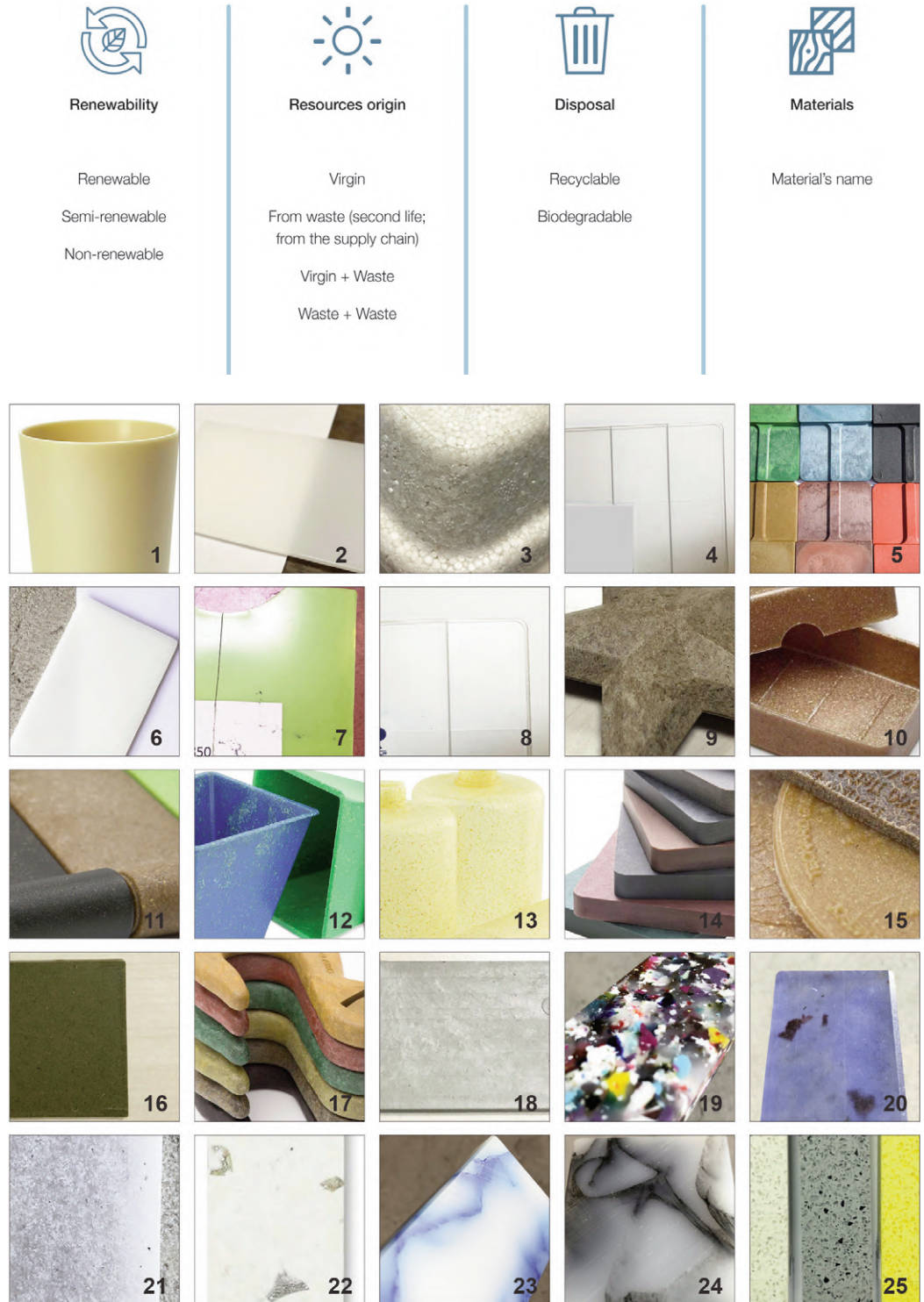


Fig. 4 | Readapted Barhudin's scheme: The samples were organised according to the characteristics shown (credit: the Authors, 2020).

Fig. 5 | The 25 samples analysed (credit: the Authors, 2020).

Fig. 6 | The activities of the designers in the second test (credit: the Authors, 2020).

The SP case studies chosen for the Form were selected based on their aesthetic characteristics, focusing on diverse and controversial examples, e.g., biopolymers simulating transparencies typical

of polymers originating from fossil sources. Following the definition of the general characteristics of sustainable products, the second study revealed the need to analyse specific material samples. An

online analysis mode using descriptive images of the samples themselves was chosen in order to understand the onscreen rendering of SP characteristics (Fig. 3). The participants received a link to an online form, as well as instructions and documentation for the test: a folder with the images of seven samples (identified by codes); a sheet with the adjectives to be attributed to the samples; several tables of images (also identified by codes) to be associated with the adjectives. Concerning the association of characteristics and images, the MiPS study by van Kesteren, Stappers and de Bruijn (2007) which focused on the connection between images and keywords, was used as a reference; the descriptive criteria for 'natural' and 'quality' were adopted from Karana (2012). With regard to sensory analysis, references were taken from the Ma2E4 tool (Camere and Karana, 2018) and the research on the perception of material characteristics conducted by Zuo et alii (2001).

In total, 25 SPs were selected for the test, mainly bioplastics (between 60-100% bio-based), plastics from 100% recycled materials (except for one case at 50%) or mixed between these two categories (Tab. 1). The materials were then mapped and organised (Fig. 4, 5) by reworking the model developed by Bahrudin, Aurisicchio and Baxter (2017). The test was divided into five main phases (Fig. 6): 1) profiling – although the analysis was anonymous, it considered age, sex, gender, education, nationality and sensitivity to environmental issues; 2) general assessment – the same sections were repeated for each sample, with the first question regarding the identification of the material and its possible application; 3) description – participants were asked to assign four adjectives to the analysed material, selected freely or from a provided list, and then to associate the four adjectives with as many images that best represented the perceived feelings; 4) sustainability assessment – participants were asked to score the value of perceived naturalness and sustainability, assigning a Likert scale from 0 to 10; 5) sensory assessment – participants were asked to rate the visual characteristics, matt-transparent, pattern/solid colour fibres, non-reflective-reflective, matt-shiny, assigning a Likert scale from 0 to 10. The estimated average time for conducting the test was approximately 1 hour; after the test, the attributes were divided and organised according to the descriptive categories (Fig. 7) elaborated by Karana (2009) and reiterated by Bahrudin and Aurisicchio (2018).

The application of this methodology allowed the identification of key elements for the creation of SMaPTs. The first study tracked general information regarding the perception of SPs, while the second study determined adjectives and images associated with selected SP samples, recurring correlations between perceptions of sustainability and naturalness associated with images of SP samples, and attributes related to the visual perception of SPs.

Results | The heterogeneous sample of participants in the first study provided 133 answers (Fig. 8), demonstrating attention to environmental issues. On a scale of 1 (not at all) to 5 (very much), 97.8% of participants expressed a medium to high level of interest in sustainability issues, admitting however that attention is not always paid to

Use description	Refers to specific product or unique environment in which a material is employed for a particular purpose. (e.g. handle for organic form)
Manufacturing process	Express the applied production or treatment techniques for the appraised product. (e.g. glazed)
Technical description	Refers to quantifiable technical properties, which mostly derived from the chemical structure of the material. (e.g. strength)
Sensorial description	Making reference to interactions between materials and users through the five senses, sight, touch, smell, taste and hearing. (e.g. smooth)
Emotional description	The subjective feelings of people towards a material, often automatically and unconsciously. (e.g. surprise)
Associative description	Association to another items or contexts that requires retrieval from memory and past experience. (e.g. cheese like)
Expressive semantic description	The kinds of meanings we attribute to materials after the initial sensorial input. (e.g. old)

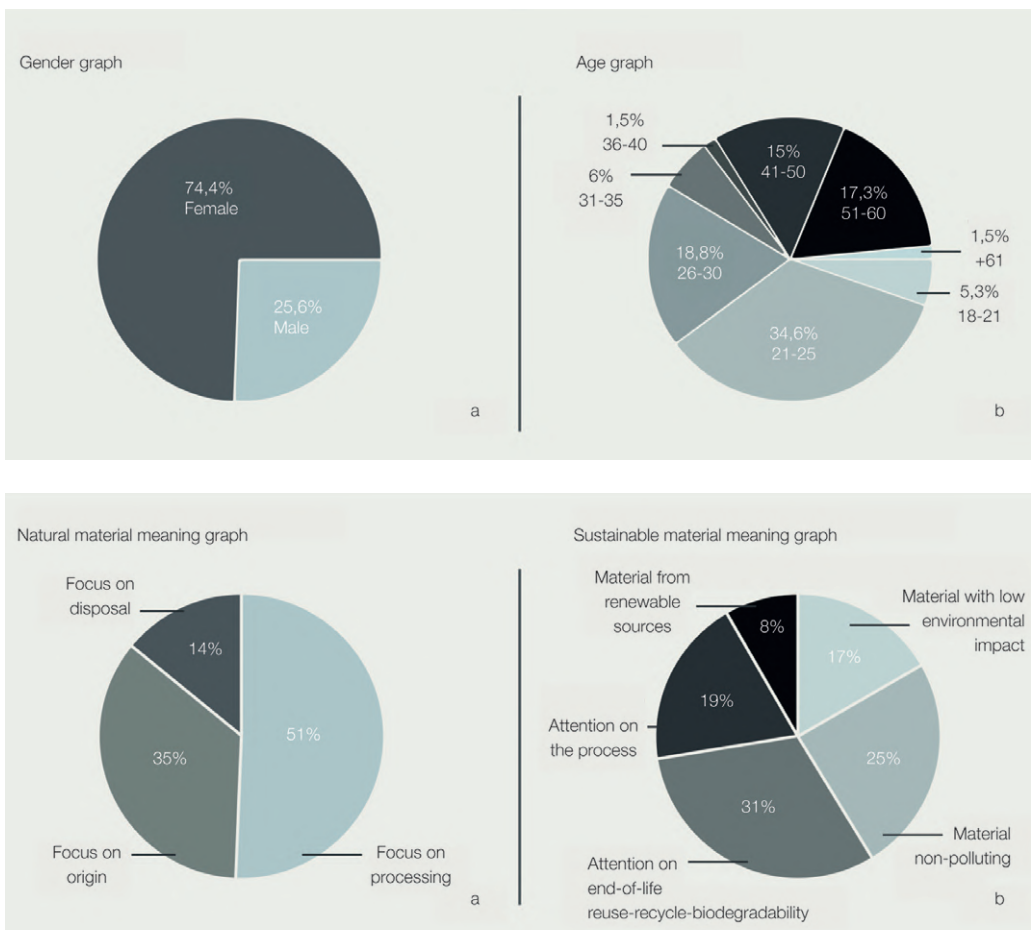


Fig. 7 | Karana descriptive categories reported by Bahrudin (credit: image processed by the Authors based on Bahrudin and Aurisicchio, 2018).

Fig. 8 | Gender graph and Age graph (credit: the Authors, 2021).

Fig. 9 | Answers' graphs about natural and sustainable material meaning (credit: the Authors, 2021).

Next page

Fig. 10 | Results of attribute analysis according to descriptive categories (credit: the Authors, 2021).

Fig. 11 | Example of a results sheet (credit: the Authors, 2021).

Fig. 12 | Roadmap for the analysis and creation of SMaPT (credit: the Authors, 2022).

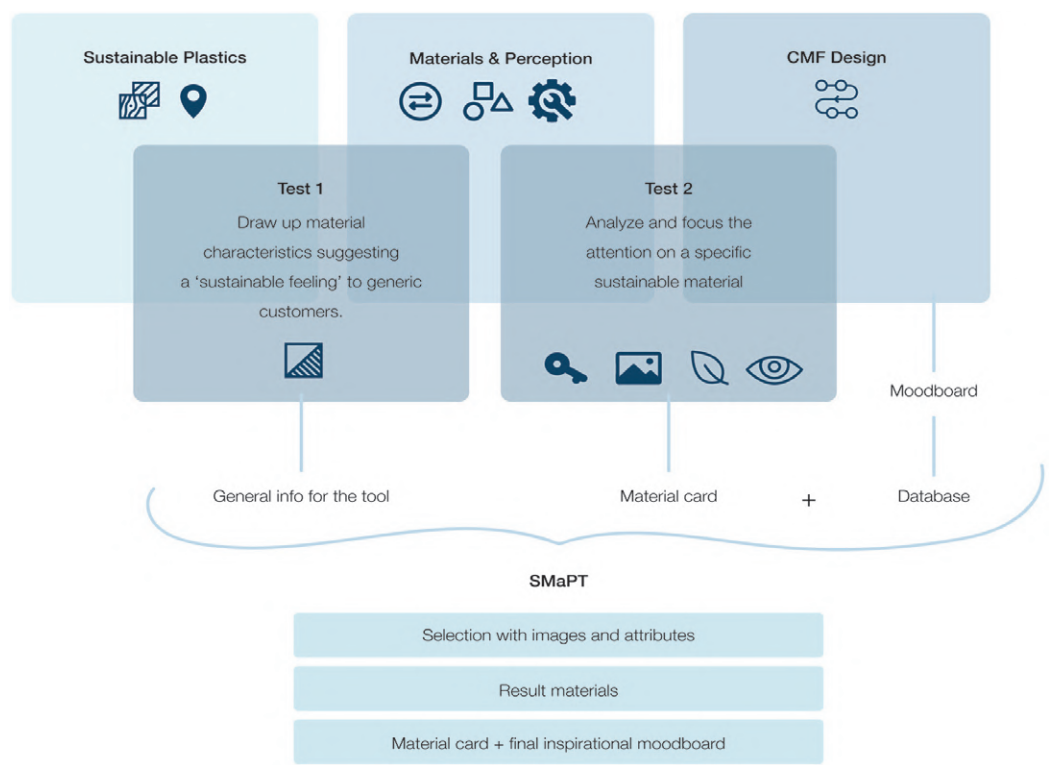
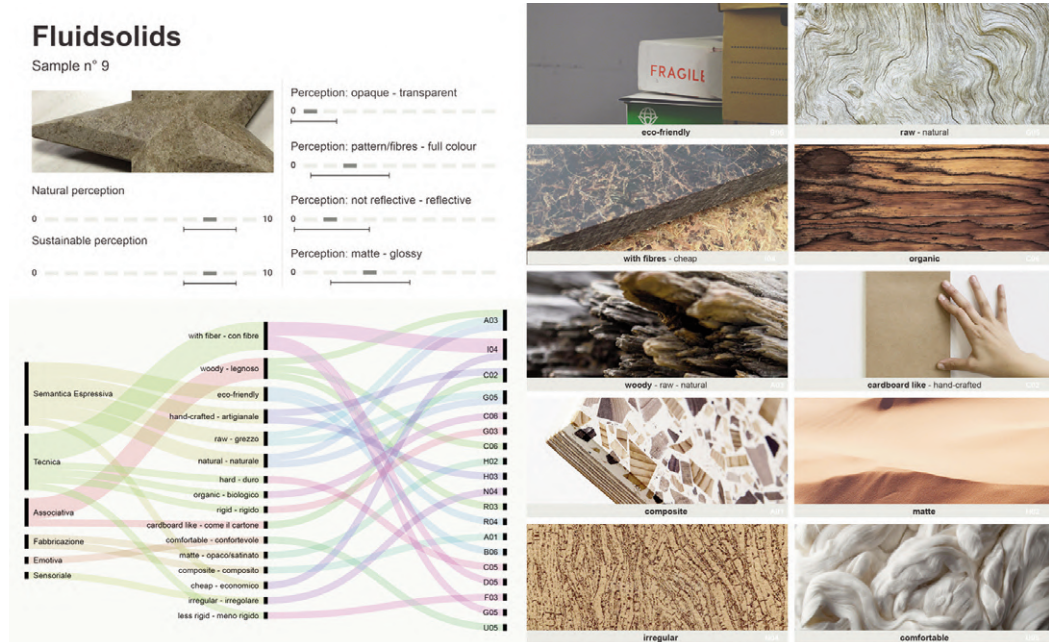
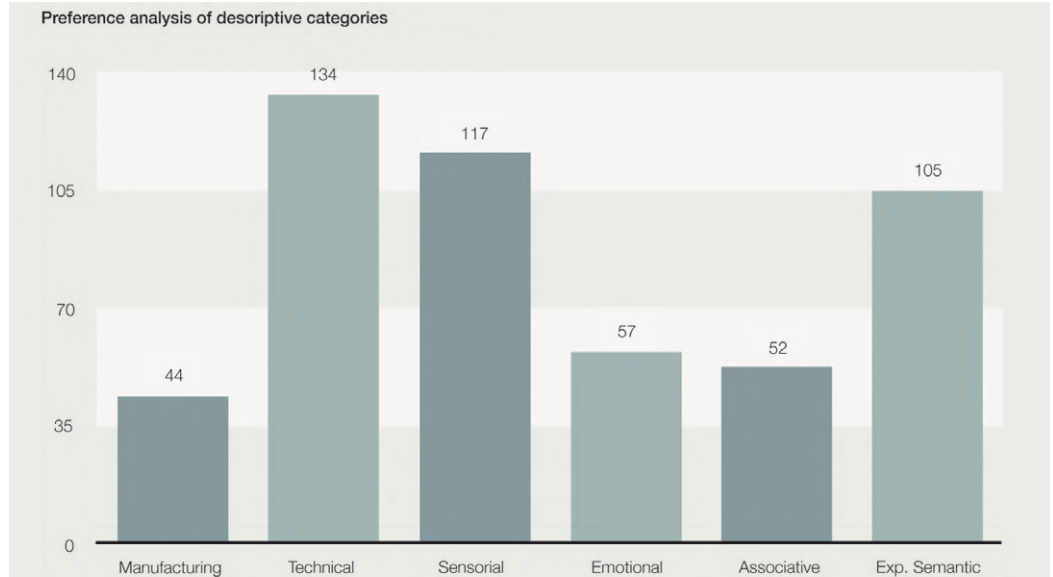
the origin of purchased products (22.6% of participants are not attentive and 51.9% – more than half – are only sometimes attentive). Regarding the meaning of ‘natural materials’, the focus was on three main aspects: origin, process and disposal. On the other hand, the answers concerning the meaning of ‘sustainable material’ were divided over several themes, as can be seen from the graph in Figure 9.

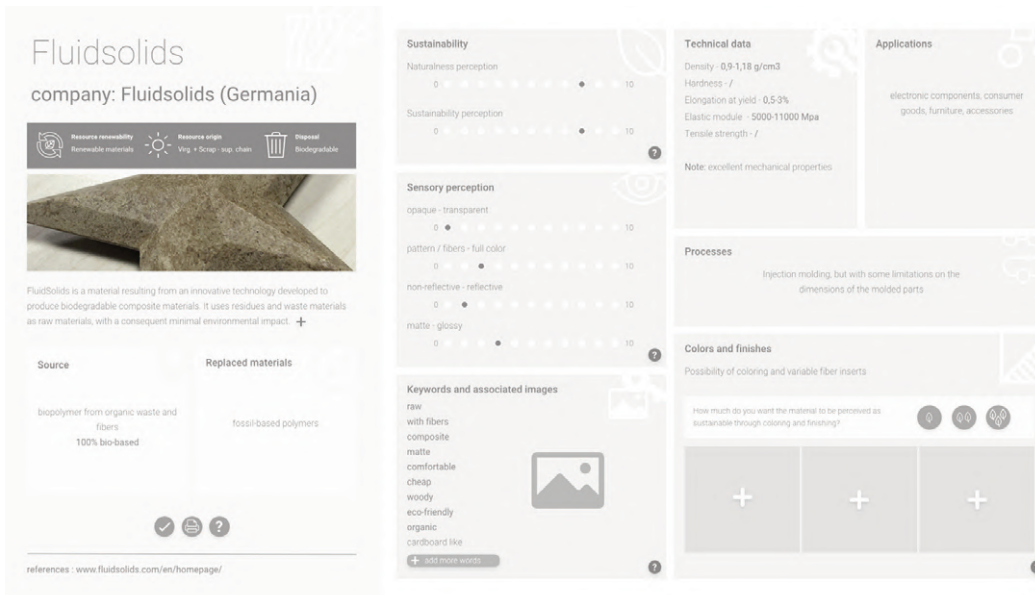
The results of the second phase show that raw and milky-looking materials are chosen for their sustainable appearance; in order of preference, samples with roughness, marks or inclusions, neutral colours or poorly defined transparencies follow, while the least chosen are smooth materials in artificial colours. When identifying the possible uses of the selected materials (durable product, disposable product, luxury packaging), high-performance applications were associated with materials perceived as not very sustainable. In the third phase, products and materials already on the market and made with SPs were presented to participants: those perceptually most sustainable were found to have inclusions, rough surfaces, irregularities in colouring and natural fibres. Finally, the last phase assessed the perception of a sustainable material: the most valued characteristic was the natural colour, followed by the presence of fibres and irregularities in terms of colouring and surfaces.

In general, the survey revealed a negligible distinction between ‘natural’ and ‘sustainable’. Furthermore, comparing the answers to the same question asked both at the beginning and end of the study, first in open-ended form and after as a multiple-choice question (namely: ‘In your opinion, what characteristics does a sustainable material have at first glance?’), showed that in the former case more importance was given to the experience of touch, whereas in the latter case, the participants selected various characteristics showing greater awareness as a result of observing the images. Fibres and inclusions within the material assumed greater importance, while roughness, colour and surface irregularity, neutral and light colours were reconfirmed as characteristics that make a material seemingly more sustainable. The test verified the results of Karana’s (2012) study on the evaluation of the concepts of ‘natural’ and ‘high quality’, notwithstanding the different population samples, geographical areas, cultures and sensitivities.

The second study involved 30 designers from different backgrounds and nationalities selected within the degree courses of Design&Engineering, PSSD and Integrated Product Design of the Politecnico di Milano. The data collected for each sample was processed by calculating the averages and standard deviation for the numerical ratings on the Likert scale and combining the adjectives and images sections. The analysis of the results obtained by combining adjectives and images shows how the choice of the images was consistent with the corresponding attribute, and in line with the material to which they referred.

In this regard, it should be noted that the attribute-image relations varied from sample to sample because they presumably produced different sensations and meanings depending on the material analysed. It was, therefore, possible to divide the attributes of each sample into the six





Material perception charts were generated by systemizing the collected data, which not only included scales defining specific sensory aspects, but also actual tables of images and keywords (Fig. 11). The second test then made it possible to investigate the perception of SPs of different origins with results that were both homogeneous and in line with expectations, due to the nature of the sample of participants (designers), conscious of the variables involved. The study showed that for materials with an aesthetic similar to traditional plastics, it is more difficult to assess sustainability and to vary in the attribution of specific characteristics; however, when materials have a particular, more defined appearance, especially in the presence of fibres or inclusions, the irregularity of the surface and texture is reconfirmed as a communicator of sustainability and naturalness.

The genesis of a tool | The SMaPT tool, useful to design the aesthetic-sensorial aspect of SPs, was devised by combining the perceptual results obtained from the two studies, and the data sheets with images and keywords obtained only from the second study. The challenge stems from the decision to catalogue materials that do not yet have a true perceptual identity and to provide a new type of analysis of SPs that enables them to express their full potential. The collection of images and keywords makes it possible to select materials based on suggestions and impressions, primarily related to the sense of sight.

This selection generates a catalogue that, by combining the technical data provided by the companies with that derived from the second study, offers a new view of the material. The material data sheet enables the possibility to explore the attributes related to finishes and colours, resulting from elaborations of the first study (Fig. 12). SMaPT is primarily aimed at designers to guide them in their selection of SPs: the tool is conceived as an interactive online platform that aims to facilitate the designer's project activities as well as the communication between designer and client, inspiring new possible scenarios. SMaPT offers a material selection method based primarily on the aesthetic and sensorial perception expressed by images and keywords. The data collection phases were fundamental to the genesis of this tool, which allows the designer to advise and offer guidelines when designing with the selected materials.

Following the choice of images and keywords, an initial moodboard is generated to guide the selection of materials corresponding to the chosen images and words. It is then possible to evaluate each material utilizing data sheets that provide an overview containing not only perceptual information but also information regarding the origin, disposal, possible applications, processes and some technical data (Fig. 13). The final output of the tool is a new moodboard assembled ad hoc for the chosen material and the project (Fig. 14). To enable the correct functioning of the SMaPT tool, to date 25 materials have been analysed and archived by the authors into a database that can be continuously expanded and updated for reliability and variety. The tool, which is still in its validation phase, has been tested for use in preliminary trials (Fig. 15) both in academic and corporate settings², and its main points have been

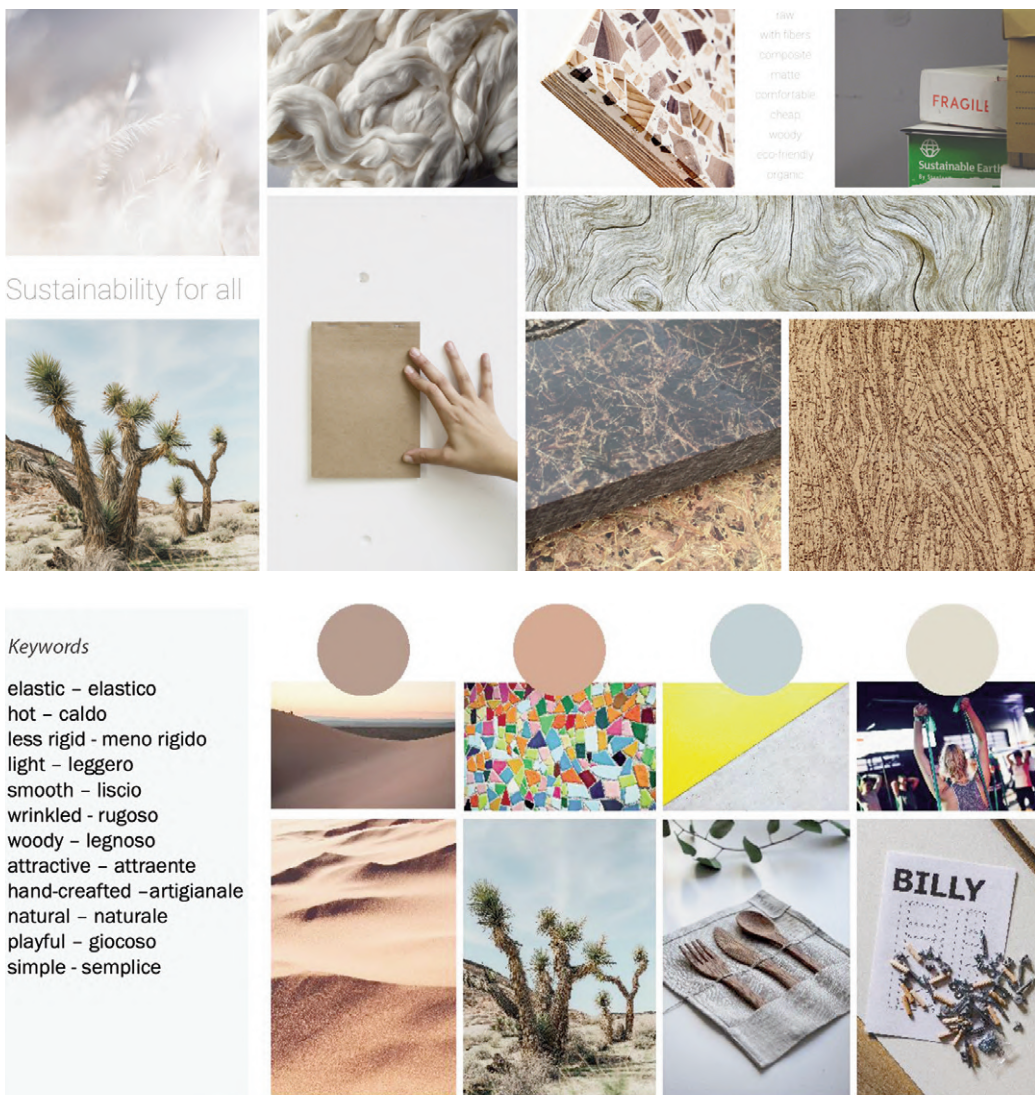


Fig. 13 | Example of a material sheet (credit: the Authors, 2021).

Fig. 14 | Example of a final moodboard (credit: the Authors, 2021).

Fig. 15 | Moodboard resulting from the trial (credit: the Authors, 2021).

main groups of descriptive categories; compared to Barhudin e Aurisicchio (2018), the 'description of use' was not considered as this was only a material analysis. The test analysis also showed that the characteristics used to describe materials are

predominantly technical; this is followed by sensory, expressive, emotional, associative and production characteristics (Fig. 10). However, in the case of materials with a pronounced aesthetic, the sensory aspect was emphasised.

translated into activities. The next development steps include the finalisation of the application in digital form to conclusively test effectiveness.

Conclusions | The materials used in new sustainable products are the result of years of research and development in order for their performance to reach and eventually surpass that of traditional ones; however, their 'aesthetic and sensory identity' is still under-explored. At present, the multidisciplinary designer is able to have a holistic view of the product by considering the aesthetic-sensory aspect of the material in relation to its context and intended use. This study proposes a tool that builds precisely on the aesthetic-sensory aspect to arrive at the selection of new material solutions through an inspirational approach for designers. SMaPT allows additional sensations to be trans-

lated through the sense of sight, such as those originating from touch or smell, by means of their representation in combinations of keywords and images. The construction of a moodboard enables images to evoke emotions and sensations and offers a first attempt at defining how a material can be rendered through a digital medium.

The research and data collection undertaken for SMaPT was designed to be replicable and implementable. However, some present limitations must be mentioned: first of all, despite its ease of use, the tool needs to be embedded within guided activities such as workshops or tutorials. Its transferability in the form of an online tool that appeals to a wider audience requires additional validating sessions. Secondly, it may be worth testing the congruence between the aesthetic-sensory analysis of certain materials carried out through

SMaPT and that same analysis carried out in analogue form through direct interactions with material samples or through other existing tools.

The implications of the illustrated study lie in promoting the conscious use of SPs within the project, considering both their technical and perceptual properties. Further activities to determine the potential of SMaPT include expanding the number of materials in the tool's database, as well as further testing following the final programming of the planned digital platform. The ability to design and share perceptual aspects of sustainable materials through an online usable tool may be a step toward the definition of new scenarios and the creation of a shared language for the aesthetics of sustainable plastics.

Acknowledgements

This contribution is the result of a common reflection of the Authors. Nevertheless, the paragraphs 'Methodology' and 'Results' are to be attributed to L. Sossini.

Notes

1) For more information, consult the following webpage: makingmaterials.emic.polimi.it [Accessed 10 October 2022].

2) The tool was tested both in academic environments (undergraduate and graduate university courses in Design) and corporate ones (with the collaboration of a leading Italian home appliances company).

References

- Almeida, F., Duarte Santos, J. and Monteiro, J. A. (2020), "The Challenges and Opportunities in the Digitalization of Companies in a Post-Covid-19 World", in *IEEE Engineering Management Review*, vol. 48, issue 3, pp. 97-103. [Online] Available at: doi.org/10.1109/EMR.2020.3013206 [Accessed 10 October 2022].
- Antonelli, P. (ed.) (2008), *Design and the elastic mind*, The Museum of Modern Art, New York.
- Balaji, M. S., Raghavan, S. and Jha, S. (2011), "Role of tactile and visual inputs in product evaluation – A multisensory perspective", in *Asia Pacific Journal of Marketing and Logistics*, vol. 23, n. 4, pp. 513-530. [Online] Available at: doi.org/10.1108/13555851111165066 [Accessed 30 September 2022].
- Bahrudin, F. I. and Aurisicchio, M. (2018), "The appraisal of sustainable materials", in Marjanović, D., Štorga, M., Škec, S., Bojčević, N. and Pavković, N. (eds), *DS 92 – Proceedings of the Design 2018 – 15th International Design Conference, May, 21-24, 2018, Dubrovnik, Croatia*, pp. 2575-2584. [Online] Available at: doi.org/10.21278/idc.2018.0455 [Accessed 30 September 2022].
- Bahrudin, F. I., Aurisicchio, M. and Baxter W. (2017), "Sustainable materials in design project", in Karana, E., Giaccardi, E., Nimkulrat, N., Niedderer, K. and Camere, S. (eds), *Proceedings of International Conference on Experiential Knowledge and Engineering Materials (EKSIG 2017) – Alive Active Adaptive*, Delft University of Technology, Rotterdam, pp. 194-207. [Online] Available at: hdl.handle.net/10044/1/45862 [Accessed 30 September 2022].
- Becerra, L. (2016), *CMF Design – The Fundamentals Principles of Colour, Material and Finish Design*, Frame Publishers, Amsterdam.
- Camere, S. and Karana, E. (2018), "Experiential Characterization of Materials – Toward a toolkit", 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 2018, Limerick, Ireland. [Online] Available at: doi.org/10.21606/drs.2018.508 [Accessed 30 September 2022].

Chang, D. and Nesbitt, K. V. (2006), "Developing Gestalt-based design guidelines for multi-sensory displays", in *Proceedings of the 2005 NICTA-HCSNet Multimodal User Interaction Workshop (MMUI '05)*, vol. 57, Australian Computer Society, pp. 9-16. [Online] Available at: dl.acm.org/doi/abs/10.5555/1151804.1151807 [Accessed 30 September 2022].

European Parliament (2019), *Directive (EU) 2019/904 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 on the reduction of the impact of certain plastic products on the environment*, document 32019L0904. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32019L0904 [Accessed 10 October 2022].

Fleming, R. W. (2014), "Visual perception of materials and their properties", in *Vision Research*, vol. 94, pp. 62-75. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.visres.2013.11.004 [Accessed 30 September 2022].

Gardien, P., Djajadiningrat, T., Hummels, C. and Brombacher, A. (2014), "Changing your Hammer – The implications of paradigmatic innovation for design practice", in *International Journal of Design*, vol. 8, n. 2, pp. 119-139. [Online] Available at: ijdesign.org/index.php/IJDesign/article/view/1315 [Accessed 30 September 2022].

Karana, E. (2012), "Characterization of 'natural' and 'high-quality' materials to improve perception of bio-plastics", in *Journal of Cleaner Production*, vol. 37, pp. 316-325. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.07.034 [Accessed 30 September 2022].

Karana, E. (2009), *Meanings of Materials*, PhD Thesis, Delft University of Technology. [Online] Available at: repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:092da92d-437c-47b7-a2f1-b49c93cf2b1e [Accessed 30 September 2022].

Papile, F., Sossini, L., Santi, R. and Del Curto, B. (2021), "Material selection and new designers generations – How to stimulate students interest in materials world when in virtual lesson modality", in Chova, L. G., Lopez, A. and Torres, I. C. (eds), *INTED2021 Proceedings – 15th annual International Technology, Education and Development Conference, IATED*, pp. 5078-5087. [Online] Available at: doi.org/10.21125/inted.2021.1048 [Accessed 10 October 2022].

Papile, F., Marinelli, A. and Del Curto, B. (2020), "From physical to virtual – A case study on teaching nanotechnologies and functional materials for design with smart lessons", in *EDULEARN20 Proceedings – 12th International Conference on Education and New Learning Technologies, IATED*, pp. 7594-7602. [Online] Available at: dx.doi.org/10.21125/edulearn.2020.1925 [Accessed 10 October 2022].

Rognoli, V., Bianchini, M., Maffei, S. and Karana, E.

(2015), "DIY materials", in *Materials & Design*, vol. 86, pp. 692-702. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.matdes.2015.07.020 [Accessed 30 September 2022].

Santi, R., Elegir, G. and Del Curto, B. (2020), "Designing for sustainable behaviour practices in consumers – A case study on compostable materials for packaging", in *Proceedings of the Design Society – Design Conference*, vol. 1, Cambridge University Press, pp. 1647-1656. [Online] Available at: doi.org/10.1017/dsd.2020.150 [Accessed 30 September 2022].

Shin, J., Cho, J. and Lee, S. (2020), "Please Touch Color – Tactile-Color Texture Design for The Visually Impaired", in *Extended Abstracts of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '20)*, Association for Computing Machinery, New York, pp. 1-7. [Online] Available at: doi.org/10.1145/3334480.3383003 [Accessed 30 September 2022].

Spence, C. and Gallace, A. (2011), "Multisensory design: Reaching out to touch the consumer", in *Psychology & Marketing*, vol. 28, issue 3, pp. 267-308. [Online] Available at: doi.org/10.1002/mar.20392 [Accessed 30 September 2022].

van Kesteren, I. E. H., Stappers, P. J. and de Bruijn, S. (2007), "Materials in Products Selection – Tools for Including User-Interaction in Materials Selection", in *International Journal of Design*, vol. 1, n. 3. [Online] Available at: ijdesign.org/index.php/IJDesign/article/view/129 [Accessed 30 September 2022].

Wilkes, S., Wongsriruksa, S., Howes, P., Gamester, R., Witchel, H., Conreen, M., Laughlin, Z. and Miodownik, M. (2016), "Design tools for interdisciplinary translation of material experiences", in *Materials & Design*, vol. 90, pp. 1228-1237. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.matdes.2015.04.013 [Accessed 30 September 2022].

Zafarmand, S. J., Sugiyama, K. and Watanabe, M. (2003), "Aesthetic and sustainability – The aesthetic attributes promoting product sustainability", in *The Journal of Sustainable Product Design*, vol. 3, issue 3-4, pp. 173-186. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s10970-005-6157-0 [Accessed 30 September 2022].

Zuo, H., Hope, T., Castle, P. and Jones, M. (2001), "An Investigation into the Sensory Properties of Materials", in *Proceedings of the International Conference on Affective Human Factors design*, ASEAN Academic Press, London pp. 500-507. [Online] Available at: citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.498.7127&rep=rep1&type=pdf [Accessed 30 September 2022].

Zuo, H., Jones, M., Hope, T. and Jones, R. (2016), "Sensory perception of material texture in consumer products", in *The Design Journal*, vol. 19, issue 3, pp. 405-427. [Online] Available at: doi.org/10.1080/14606925.2016.1149318 [Accessed 30 September 2022].

